



Análisis del Efecto Biofiltrador del bivalvo *Diplodon chilensis* en la Dinámica de un Ecosistema Acuático Eutrofizado

Habilitación presentada para optar al título de

Ingeniera Ambiental

MAYERLIC ESPERANZA SALINAS FARRÁN

Concepción, Chile, 2024

“ANÁLISIS DEL EFECTO BIOFILTRADOR DEL BIVALVO DIPLODON CHILENSIS EN LA DINÁMICA DE UN ECOSISTEMA ACUÁTICO EUTROFIZADO”

Profesor Guía: Dr. Claudio Valdovinos Zarges



Profesor Comisión: Dr. Mauricio Aguayo Arias



Profesor Comisión: Dr. Alberto Araneda Castillo

CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, marzo 2024



Análisis del Efecto Biofiltrador del bivalvo *Diplodon chilensis* en la Dinámica de un Ecosistema Acuático Eutrofizado

Habilitación presentada para optar al título de

Ingeniera Ambiental

MAYERLIC ESPERANZA SALINAS FARRÁN

Profesor guía: Dr. Claudio Valdovinos Zarges

Concepción, Chile, 2024

*“Pero el ser humano es parte de la naturaleza y
su guerra contra ella es, inevitablemente,
una guerra contra sí mismo”.*

Agradecimientos

Agradecer primero a mi mamá Mayerlic, quien con su dulzura, amor y calma desde que tengo memoria ha sido mi pilar fundamental, celebrando mis logros y constantemente dejándome ser yo misma. Luego mi papá Richard, quien me enseñó a nunca bajar la cabeza, ni dejar que me pasaran a llevar, y mucho menos dudar de mis capacidades. Gracias a ambos por siempre apoyar mis ideas locas y entenderme cada una de las veces que el estrés me superaba, decir que los admiro y amo sería subestimar el sentimiento. También debo agradecer a mi hermano Luis Eduardo, con quien siempre hemos sido polos opuestos, pero que debido a eso he podido aprender mucho de él. Siempre alegre y dispuesto a lo que sea, me brindó tranquilidad en este proceso desde el otro lado del mundo, cosa que le agradeceré eternamente. Nada de esto hubiera sido posible sin ustedes.

Gracias a Alma y a Alex, mis perritos que fueron grandes apoyos emocionales desde su inocencia y amor incondicional.

En mi paso por la Universidad, tuve el honor de participar en la delegación de CECADES UdeC, confederación a la que siempre tendré en un lugar especial de mi corazón, especialmente por todas las actividades y congresos en los que pude crecer como profesional, además de conocer lugares hermosos y totalmente nuevos para mí.

También agradecer al campus de la Universidad de Concepción, que sin querer se transformó en el lugar donde pasaría penas, rabias, alegrías y celebraciones durante estos años tan importantes de mi vida; donde además aprendí cosas que nunca olvidaré, no solo académicamente hablando, sino sobre quién soy y quién quiero llegar a ser.

Y finalmente me gustaría reconocer y destacar a todas las mujeres que, tanto en la ciencia como en sus vidas cotidianas, se enfrentaron a las normas para que las que vinieramos después pudiéramos tener voz, sin tener que vivir detrás de un seudónimo o existir desde el anonimato.

Índice

Resumen.....	5
1. Introducción.....	6
2. Materiales y métodos.....	9
2.1. Área de estudio.....	9
Tabla 1.....	9
2.2. Diseño experimental.....	10
2.3. Experimentos <i>in situ</i>	10
Tabla 2.....	10
Figura 1.....	11
Figura 2.....	12
Figura 3.....	13
2.4. Condiciones ambientales de los experimentos <i>in situ</i>	14
2.5. Efecto de los bivalvos sobre los sedimentos.....	14
Figura 4.....	15
2.6. Análisis de laboratorio de las muestras.....	16
2.7. Análisis de datos.....	16
3. Resultados.....	16
3.1. Condiciones ambientales.....	16
Tabla 3.....	17
3.2. Efecto de <i>Diplodon chilensis</i> sobre el contenido de materia orgánica del sedimento.....	18
Tabla 4.....	18
Figura 5.....	20
Tabla 5.....	20
Tabla 6.....	21
4. Discusión.....	21
5. Conclusiones.....	23
6. Agradecimientos.....	23
7. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	24
8. Bibliografía.....	25

Resumen

Los bivalvos de agua dulce, como *Diplodon chilensis*, desempeñan un rol ecológico fundamental en los ecosistemas acuáticos a través de sus actividades de biofiltración, afectando la calidad del agua y la dinámica de los sedimentos. A pesar de su importancia, los roles funcionales de los bivalvos en el Hemisferio Sur, particularmente en ecosistemas eutróficos, son aún insuficientemente comprendidos. Este estudio evalúa el efecto biofiltrador de *D. chilensis* en la biogeoquímica de los sedimentos lacustres, enfocándose en la materia orgánica total en el contexto de la restauración ecológica de lagos eutróficos. Se llevó a cabo un experimento de mesocosmos en la Laguna Chica de San Pedro (Chile central), utilizando bivalvos vivos, bivalvos muertos (conchas) y controles sin bivalvos para medir tasas de biodeposición y excreción. Durante seis semanas a principios del verano, se monitoreó el contenido de materia orgánica de los sedimentos. El experimento mostró incrementos estadísticamente significativos en la materia orgánica de los sedimentos en presencia de *D. chilensis* vivos, sugiriendo un efecto en la calidad del sedimento que podría potencialmente mejorar la claridad del agua. Este estudio es el primero en demostrar el rol funcional de *D. chilensis* como ingeniero de ecosistemas en un ambiente léntico, contribuyendo al entendimiento de las funciones ecológicas de los bivalvos en ecosistemas de agua dulce. Este hallazgo subraya el potencial de utilizar bivalvos en la restauración ecológica de lagos eutróficos, destacando sus capacidades de bioingeniería para mejorar la calidad del agua. Las implicancias de este estudio se extienden a la gestión y conservación de ecosistemas acuáticos, enfatizando la importancia de organismos bentónicos como actores clave en la resiliencia y el equilibrio del ecosistema.

1. Introducción

Los ecosistemas acuáticos, incluyendo lagos y cuerpos de agua dulce, son sistemas complejos y dinámicos que desempeñan un papel relevante en el ciclo biogeoquímico global (Vadeboncoeur et al., 2008). Los sedimentos en estos ecosistemas actúan como un reservorio de nutrientes y materia orgánica, influyendo directamente en la calidad del agua y la biodiversidad (Mermillod-Blondin, 2011). La interacción entre los organismos bentónicos, como los moluscos, y los sedimentos puede alterar significativamente las propiedades físicas y químicas del entorno acuático (Vaughn & Hakenkamp, 2001). La comprensión de estas interacciones es esencial para evaluar y gestionar la salud y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos.

La eutrofización, caracterizada por el enriquecimiento excesivo de nutrientes en cuerpos de agua, es una amenaza creciente para los ecosistemas acuáticos (Smith & Schindler, 2009). Este fenómeno puede llevar a la proliferación de algas, disminución del oxígeno disuelto y alteraciones en la composición de especies (Carpenter et al., 1998). Además, la eutrofización puede alterar la calidad del agua y los sedimentos, afectando negativamente a los organismos bentónicos y, por ende, a toda la cadena trófica (Jeppesen et al., 2005), dado que los sedimentos juegan un papel relevante en este proceso, actuando como fuentes o sumideros de materia orgánica y nutrientes, como nitrógeno y fósforo (Søndergaard et al., 2003). Dentro de esto último, destacando el efecto de la materia orgánica total (MOT), dado que esta corresponde a una variable relevante en la química de los sedimentos y la columna de agua, incidiendo en los niveles de oxígeno y de nutrientes del ecosistema. Es por esto que la investigación sobre las especies que interactúan con los sedimentos es fundamental para entender y mitigar los impactos de la eutrofización.

Los moluscos bivalvos de agua dulce, pertenecientes a familias como Unionidae y Hyriidae, exhiben una diversidad taxonómica y funcional notable en ecosistemas lóticos y lénticos (Strayer et al., 2004; Graf & Cummings, 2007). Estudios filogenéticos han identificado patrones de diversificación y endemismo en regiones geográficas específicas, como la cuenca del Paraná en América del Sur (Pereira et al., 2017). La distribución de estas especies está estrechamente vinculada a factores hidrológicos y geomorfológicos (Haag, 2012). La adaptabilidad de los bivalvos a gradientes ambientales, como la salinidad y la turbidez, ha sido documentada en estudios ecológicos detallados (Aldridge et al., 2007; Sousa et al., 2008).

Los moluscos bivalvos de agua dulce, desempeñan un papel relevante en los ecosistemas acuáticos, contribuyendo significativamente a la biodiversidad y la estabilidad ecológica (McCasker & Humphries, 2021). Estos organismos, pertenecientes a la familia Unionidae, han enfrentado desafíos ambientales, como la contaminación y la alteración de los hábitats, lo que ha llevado a que más del 70% de las especies estén amenazadas o en peligro de extinción (Rogers et al., 2020). Los servicios ecosistémicos se están viendo afectados debido a la disminución en la abundancia de estos organismos a escala global.

A pesar de estos desafíos, los bivalvos de agua dulce han mostrado una notable capacidad de adaptación, evidenciada por la expansión de sus genomas y la proliferación de elementos transponibles (Rogers et al., 2020). En muchos ecosistemas de agua dulce del mundo con hábitats naturales y seminaturales, los bancos de estos bivalvos representan la mayor parte de la biomasa bentónica total (Strayer et al., 1999).

La actividad de filtración de los bivalvos, como *Diplodon chilensis*, tiene un impacto directo en la dinámica del fitoplancton y la ciclación de nutrientes en ecosistemas acuáticos (Vaughn et al., 2018; Atkinson et al., 2010). Estudios experimentales han evidenciado que los bivalvos pueden reducir la concentración de nutrientes inorgánicos disueltos, como nitratos y fosfatos (Howard & Cuffey, 2006). La bioirrigación, resultado de la actividad de sifoneo, modifica la concentración de oxígeno y nutrientes en los sedimentos, afectando la mineralización de la materia orgánica (Rhoads & Young, 1970; Kristensen, 1988).

Estos organismos actúan como bioingenieros, modificando su entorno y creando hábitats que benefician a otras especies. Estudios han demostrado que los bivalvos pueden influir en la estructura y función de los ecosistemas acuáticos al modificar la disponibilidad de nutrientes y la dinámica de los sedimentos (Gutiérrez et al., 2003; Strayer et al., 2004). La actividad de filtración de los bivalvos contribuye a la claridad del agua, eliminando partículas suspendidas y nutrientes excesivos, lo que puede mitigar la eutrofización (Vaughn & Hakenkamp, 2001). La capacidad de los bivalvos para alterar la calidad del agua ha sido explorada en contextos de restauración ecológica de lagos eutrofizados (Gutiérrez et al., 2003; Phelps, 2000). Por ejemplo, *M. nervosa* ha mostrado una notable adaptación a ambientes alterados, evidenciada por la selección positiva en genes relacionados con la detoxificación y la formación de conchas (Rogers et al., 2021). Estos roles ecológicos subrayan la importancia de los bivalvos en la salud y resiliencia de los ecosistemas acuáticos.

Diplodon chilensis (Orden Unionoida, familia Hyriidae, género *Diplodon*), el mejillón de agua dulce chileno, es un bivalvo endémico de los cuerpos de agua dulce en Chile. Su distribución abarca desde arroyos hasta lagos y embalses. Aunque la literatura específica sobre *D. chilensis* es limitada, estudios sobre bivalvos relacionados han proporcionado información sobre su biología, ecología, crecimiento y longevidad (Parada et al., 1989; Vaughn & Hakenkamp, 2001). La especie ha sido clasificada como "Datos Insuficientes" en la Lista Roja de la UICN, destacando la necesidad de más investigaciones (IUCN, 2011). En Chile, se distribuye entre el río Limarí (30° 28'S; 71° 05'O) y el istmo de Ofqui (46° 37'S; 74° 19'O) (Parada et al., 2007), con un área de distribución discontinua de ca. 1.800 km (N-S). En esta zona de Sudamérica, *D. chilensis* es el bivalvo de mayor tamaño (hasta ca. 150 mm de longitud), tiene la mayor longevidad (hasta ca. 90 años) y es el invertebrado con mayor biomasa en muchos lagos (hasta 15 kg/m²) (Valdovinos & Pedreros 2007).

Diplodon chilensis juega un papel relevante como especie bioingeniera, alterando la biogeoquímica de los sedimentos mediante su actividad de filtración de partículas

suspendidas. Estudios en bivalvos similares han demostrado que pueden influir significativamente en la calidad del agua y los sedimentos (Vaughn & Hakenkamp, 2001; Strayer et al., 1999; Gutiérrez et al., 2003). Este proceso es fundamental para la transferencia de materia orgánica hacia los sedimentos, ya que los bivalvos ingieren partículas y las excretan en forma de heces y pseudoheces (Riisgård et al., 2014). La acumulación de estas heces y pseudoheces generadas por *D. chilensis* en los sedimentos puede incrementar el contenido de materia orgánica total, así como los niveles de Nitrógeno y Fósforo (Vaughn & Hakenkamp, 2001).

La capacidad de los bivalvos para acumular y redistribuir nutrientes en los sedimentos puede tener implicaciones significativas para la gestión y restauración de lagos afectados por la eutrofización (Higgins & Vander Zanden, 2010; Vaughn, 2018). La actividad de filtración de *D. chilensis* es particularmente relevante en la Laguna Chica de San Pedro, donde se ha observado que estos organismos pueden modificar la composición de los sedimentos (Parada et al., 1989). Comprender el impacto de *Diplodon chilensis* en la biogeoquímica de los sedimentos es fundamental para elucidar los procesos ecológicos en lagos.

La investigación sobre el papel de *Diplodon chilensis* como especie bioingeniera en la modificación de sedimentos es, por lo tanto, relevante para desarrollar estrategias efectivas de restauración ecológica de lagos eutrofizados. La investigación en la Laguna Chica de San Pedro busca evaluar estos cambios en los sedimentos a través de mesocosmos experimentales.

En relación a lo anterior, una pregunta que surge es ¿Cómo influye la actividad bioingeniera del bivalvo de agua dulce *Diplodon chilensis* en la materia orgánica total de los sedimentos lacustres?

Se postula que la intensa actividad de filtración de *Diplodon chilensis* resulta en una transferencia significativa de materia orgánica desde la columna de agua hacia los sedimentos. Esta acumulación de heces y pseudoheces en los sedimentos alteraría la biogeoquímica de los mismos. Por ende, se espera que los sedimentos de los mesocosmos con bivalvos presenten un incremento medible en la materia orgánica total en comparación con los controles. Esta hipótesis sugiere que *Diplodon chilensis* y, por extrapolación, otros bivalvos similares, pueden desempeñar un papel significativo en la restauración de ecosistemas lacustres eutrofizados al mejorar la calidad del agua.

El objetivo general de este estudio es determinar el grado en que la actividad de filtración de *Diplodon chilensis* contribuye a la transferencia y deposición de materia orgánica en sedimentos lacustres, utilizando la Laguna Chica de San Pedro como caso de estudio. En relación a lo anterior, los objetivos específicos son: a) Evaluar la relación cuantitativa entre la presencia de *D. chilensis* y las variaciones en la concentración de materia orgánica total en los sedimentos de mesocosmos experimentales, para determinar el efecto de los bivalvos en la biogeoquímica de los sedimentos de lagos, b) Establecer el rol de *D.*

chilensis en la restauración ecológica de lagos eutroficados, identificando su contribución potencial como agente natural para la mejora de la calidad del agua y la rehabilitación de ecosistemas acuáticos.

Este estudio se propone no solo dar ideas sobre las interacciones ecológicas y biogeoquímicas mediadas por este bivalvo, sino también evaluar su potencial como herramienta en estrategias de restauración ecológica y en su posible uso como “Solución basada en la naturaleza”. Al hacerlo, se busca contribuir al conocimiento científico necesario para la gestión sostenible y la conservación de ecosistemas acuáticos, enfatizando la importancia de considerar a los organismos bentónicos como actores clave en la resiliencia y equilibrio de estos sistemas.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

Este estudio experimental se realizó en un lago seleccionado del estudio de Valdovinos & Pedreros (2007), quienes estudiaron las poblaciones de *D. chilensis* en 31 lagos del centro y sur de Chile. Este corresponde a la Laguna Chica de San Pedro (eutrófica; 36° 51'S; 73° 05'O), lago mesotrófico, seleccionado por poseer grandes bancos de bivalvos de *D. chilensis*, con una abundancia de entre 5 - 30 ind/m² y rango batimétrico de 0,5 – 8 m de profundidad.

Las principales características limnológicas de este lago se resumen en la Tabla 1 con datos de Valdovinos & Pedreros (2007): Latitud, longitud, altitud, superficie del lago, profundidad media, Secchi, Total-P, PO₄-P, DIN. Todos los sitios de muestreo fueron georreferenciados mediante un GPS Garmin GPSmap 60CSx.

Tabla 1. Datos ambientales del lago considerados en este estudio.

Lago	Chica San Pedro
Latitud (S)	36° 51'
Longitud (O)	73° 05'
Altitud (m)	5
Área del lago (km²)	0,82
Profundidad media (m)	10,3
Secchi (m)	5,2
P-total (µg L⁻¹)	4,9

PO4-P (µg L-1)	3,1
NID (µg L-1)	250,0

(a) Parámetros geográficos (latitud, longitud, altitud), (b) datos morfométricos (área de superficie, profundidad media) y (c) datos de la columna de agua (fósforo total, P total; ortofosfato, PO4-P; nitrógeno inorgánico disuelto , DIN); y turbidez (transparencia del disco Secchi).

2.2. Diseño experimental

Para evaluar la Hipótesis, se generaron datos utilizando un diseño experimental similar al utilizado por McCasker & Humphries (2021). Para ello, el estudio se realizó únicamente en el periodo estival, desde el 29 de noviembre de 2023 al 10 de enero de 2024, utilizando mesocosmos instalados *in situ* en el fondo del lago comparando las características de biodepósito en sedimento del Control 1 (sin bivalvos) y Control 2 (sólo conchas), con el tratamiento 1 (bivalvos vivos) durante 6 semanas.

2.3. Experimentos *in situ*

Los mesocosmos se instalaron por inmersión en cuatro sectores representativos del lago (Tabla 2, Figura 1) entre 1,5 y 2 metros de profundidad, que corresponde a la profundidad donde se encuentran las mayores densidades de bivalvos.

Tabla 2. Coordenadas de los sitios de instalación de las cuatro cajas en la Laguna Chica de San Pedro (Huso 18, WGS84).

	UTM mE	UTM mS
Caja 1	670741	5920880
Caja 2	670815	5920807
Caja 3	670901	5920700
Caja 4	670935	5920627

Se siguió un diseño experimental similar al utilizado por McCasker & Humphries (2021), donde siguiendo un enfoque similar al de Spooner y Vaughn (2006), se asignaron aleatoriamente jaulas para los tratamientos (individuos vivos) y dos controles que corresponden a jaulas sin bivalvos (Control 1) y jaulas con bivalvos muertos (Control 2). En cada sector se instaló una caja que contenía 9 jaulas de 0,5 x 0,5 x 0,1 m, cubiertas con malla de jardinería de plástico de 20 mm de abertura de malla. Las jaulas se rellenaron con sedimentos similares a los del lago y además se les ató una boya para poder identificarlas desde la orilla posteriormente (Figuras 2a, 2b y 2c).

Las jaulas se instalaron aleatoriamente en una dentro de una franja litoral de 400 x 5 m, con un fondo homogéneo de arena y fango, utilizando coordenadas x (longitud), y (anchura) obtenidas a partir de una tabla de números aleatorios (Figuras 2d, 2e y 2f).

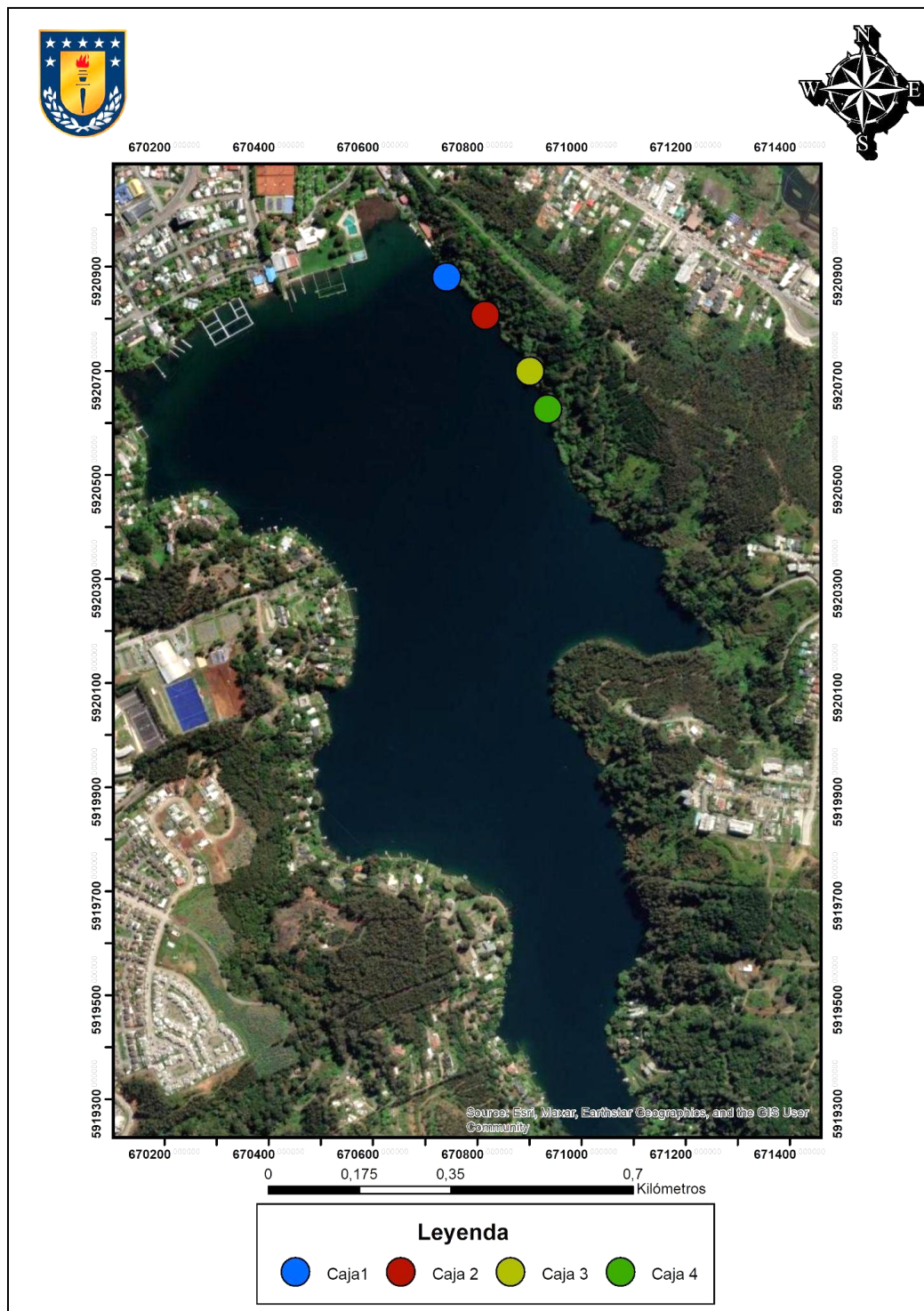


Figura 1. Ubicación de cajas en Laguna Chica.

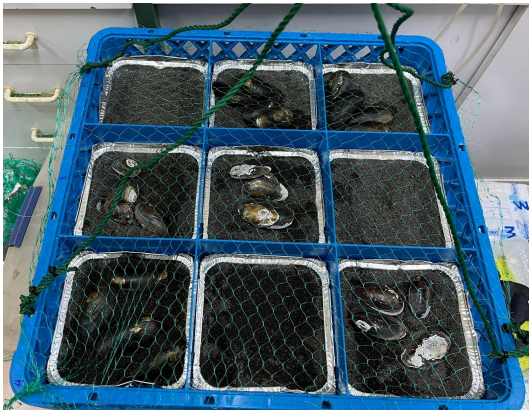
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



Figura 2. Diseño de cajas e instalación en Laguna Chica (noviembre 29, 2023). (a) Individuos adultos vivos en acuario, (b) Conchas de ejemplares muertos pegadas, (c) Caja antes de ser situadas en el lago, (d) Preparación de cajas, (e) Inmersión de cajas, (f) Caja instalada.

En cada tratamiento se instalaron 4 individuos adultos vivos, recolectados en un sector cercano del lago donde se dispusieron los experimentos *in situ*, los cuales fueron mantenidos en un acuario previo al experimento. Se utilizó una talla estandarizada entre 60 y 75 mm. En las jaulas correspondientes al Control 2 de igual forma se instalaron 4 bivalvos muertos pegados con silicona (Figura 3).



Figura 3. Cajas con individuos vivos (Tratamiento 1; representado con la letra “V”), conchas pegadas (Control 2; representado con la letra “F”) y únicamente el sustrato (Control 1; sin figura representativa), (enero 10, 2024). (a) Caja 1, (b) Caja 2, (c) Caja 3, (d) Caja 4.

2.4. Condiciones ambientales de los experimentos in situ

Para caracterizar las condiciones ambientales durante los experimentos *in situ*, se hicieron mediciones durante las 6 semanas del experimento, donde se realizaron perfiles verticales de temperatura, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, turbidez y clorofila-a con una sonda multiparamétrica Hydrolab DS-5 (Figura 4a).

El día de los muestreos, se midió pH, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto con tres instrumentos handylab LF 12 (Figura 4b), además de una medición de clorofila-a con el instrumento BenthosTorch (Figura 4c). Finalmente, se recolectaron los individuos del Tratamiento y Control 2 (Figura 4d).

2.5. Efecto de los bivalvos sobre los sedimentos

Al inicio del experimento (tiempo 0), y seis semanas después, se abrió la tapa superior de las jaulas. Para evaluar los cambios en los nutrientes del sedimento, se obtuvieron tres testigos de PVC de 20 mm de diámetro y 25 mm de profundidad de cada jaula, los cuales fueron integrados en una sola muestra por jaula para análisis de MO (Figura 4e y 4f).

La ubicación de las muestras de sedimento fue aleatoria dentro de las jaulas, donde se utilizó una tabla de números aleatorios para determinar la ubicación x/y dentro de la jaula.

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



Figura 4. Mediciones *in situ* (Enero 10, 2024). (a) Perfiles verticales, (b) Oxígeno disuelto, turbidez, temperatura y pH, (c) Clorofila-a, (d) Extracción de individuos vivos y conchas de las jaulas, (e) Toma de muestras, (f) Muestra de sedimento.

2.6. Análisis de laboratorio de las muestras

Los análisis de la columna de agua y sedimentos (MOT; LEE-MET-504-VAL-06 v1) se realizaron en el Laboratorio de Química Ambiental del Centro de Ciencias Ambientales EULA de la Universidad de Concepción, el cual está acreditado para estos parámetros por el Servicio Internacional de Acreditación ETFA 021-03.

2.7. Análisis de datos

Se determinó el efecto de los bivalvos *D. chilensis* sobre los recursos bentónicos (MOT) siguiendo a McCasker & Humphries (2021). Para ello, se utilizaron modelos lineales generalizados de una vía, probando los efectos del Tratamiento (con bivalvos vivos), Control 1 (sin bivalvos) y Control 2 (con bivalvos muertos).

Los análisis de varianza utilizados para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos y controles ($p < 0,05$), se realizaron en R (R Core Team, 2018, versión 3.3.2) utilizando los paquetes de R MASS (Venables & Ripley, 2002), donde se realizaron la Prueba de Shapiro-Wilk, Prueba de Levene, Análisis de varianza (ANOVA) y Test de Tukey.

3. Resultados

3.1. Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales fueron monitoreadas según lo mencionado en el punto 2.4, lo que dio como resultado 7 muestreos (0 - 6 semanas) consecutivos de Temperatura, Conductividad, Oxígeno disuelto, pH y turbidez (Tabla 3).

El inicio del experimento y hasta la semana 3, la estación del año correspondía a la primavera, por lo que los resultados de temperatura del agua oscilan entre los 19°C y 21°C. Luego de este periodo, se visibiliza un aumento tanto en la temperatura de las aguas, como en la conductividad eléctrica y el pH. En cuanto a la temperatura, ésta fluctuó entre los 21,5°C y los 23,3°C entre la semana 4 y la semana 6. Respecto al oxígeno disuelto y la turbidez, estos fueron disminuyendo durante las semanas de manera gradual.

En el día de los muestreos (10 de enero), la Laguna Chica de San Pedro presentaba una temperatura media de 23°C, una conductividad eléctrica de 149 $\mu\text{S}/\text{cm}$, un pH de 7,98, O.D igual a 6,99 mg/L y un nivel de turbidez media de 1,45 UTN.

Tabla 3. Variabilidad de los parámetros de calidad de agua medidos *in situ* en la Laguna Chica de San Pedro a lo largo del experimento.

Fecha	Sitio	Temp (°C)	Cond (uS/cm)	OD (mg/L)	pH	Turb (UTN)
30-nov-23	Sitio 1	19,3	121,9	8,31	7,64	1,67
30-nov-23	Sitio 2	19,3	125,4	7,98	7,56	1,72
30-nov-23	Sitio 3	19,2	120,3	8,03	7,58	1,61
30-nov-23	Sitio 4	19,1	122,1	8,11	7,61	1,69
07-dic-23	Sitio 1	19,8	122,3	8,31	7,57	1,52
07-dic-23	Sitio 2	19,9	122,5	8,45	7,45	1,67
07-dic-23	Sitio 3	19,7	122,1	8,67	7,51	1,65
07-dic-23	Sitio 4	19,7	122,1	8,52	7,56	1,58
15-dic-23	Sitio 1	20,1	123,2	7,92	7,11	1,32
15-dic-23	Sitio 2	20,0	122,2	8,45	7,68	1,45
15-dic-23	Sitio 3	20,3	123,0	9,92	7,72	1,28
15-dic-23	Sitio 4	20,1	123,4	8,56	7,65	1,56
22-dic-23	Sitio 1	20,9	123,7	7,32	7,79	1,32
22-dic-23	Sitio 2	21,0	123,0	7,45	7,81	1,31
22-dic-23	Sitio 3	21,1	123,6	7,91	7,72	1,42
22-dic-23	Sitio 4	21,0	123,5	7,57	7,80	1,48
29-dic-23	Sitio 1	21,9	132,1	7,91	7,85	1,32
29-dic-23	Sitio 2	21,5	130,0	8,12	7,99	1,38
29-dic-23	Sitio 3	21,7	133,1	7,58	7,82	1,41
29-dic-23	Sitio 4	21,8	132,4	7,66	7,78	1,51
05-ene-24	Sitio 1	22,1	156,8	7,23	8,01	1,45
05-ene-24	Sitio 2	22,2	157,3	7,45	8,12	1,56
05-ene-24	Sitio 3	22,1	155,4	7,61	7,99	1,71
05-ene-24	Sitio 4	22,0	159,2	7,72	8,11	1,32
10-ene-24	Sitio 1	23,0	153,8	7,10	8,00	1,32
10-ene-24	Sitio 2	22,8	121,2	6,88	7,78	1,72
10-ene-24	Sitio 3	23,3	161,4	6,94	8,00	1,45
10-ene-24	Sitio 4	23,0	160,6	7,06	8,13	1,30

3.2. Efecto de *Diplodon chilensis* sobre el contenido de materia orgánica del sedimento

La Tabla 4 presenta los datos recogidos de la variable de medida de resultado (MOT) para tres grupos distintos: Tratamiento, Control 1 y Control 2. Los valores de MOT para el grupo Tratamiento varían desde aproximadamente 0,66% hasta cerca de 0,88%, lo que sugiere una respuesta positiva al tratamiento. Los datos del grupo Control 1 oscilan entre 0,52 - 0,69%, mientras que los del grupo Control 2 se encuentran entre aproximadamente 0,43 - 0,67%. Estos resultados podrían verse afectados por el movimiento de las cajas al ser removidas del fondo.

Además, se presenta un pH promedio de 6,99 para el Tratamiento, mientras que para el Control 1 fue de 7,26 y para el Control 2 fue de 7,24.

Tabla 4. Análisis de muestras.

Caja	Grupo	Muestra	MOT (%)	pH
1	Tratamiento	1-2	0,659	7,11
1	Tratamiento	1-6	0,766	6,75
1	Tratamiento	1-8	0,825	6,99
1	Control 1	1-1	0,757	7,21
1	Control 1	1-5	0,737	7,25
1	Control 1	1-7	0,779	7,34
1	Control 2	1-3	0,668	7,21
1	Control 2	1-4	0,682	7,23
1	Control 2	1-9	0,852	7,27
2	Tratamiento	2-1	0,869	6,98
2	Tratamiento	2-5	0,537	7,00
2	Tratamiento	2-8	0,560	7,06
2	Control 1	2-3	0,836	7,30
2	Control 1	2-4	0,518	7,23
2	Control 1	2-7	0,548	7,33
2	Control 2	2-2	0,882	7,24

Caja	Grupo	Muestra	MOT (%)	pH
2	Control 2	2-6	0,542	7,39
2	Control 2	2-9	0,590	7,22
3	Tratamiento	3-2	0,660	7,12
3	Tratamiento	3-4	0,682	7,03
3	Tratamiento	3-9	0,556	7,01
3	Control 1	3-3	0,675	7,31
3	Control 1	3-6	0,692	7,29
3	Control 1	3-7	0,426	7,17
3	Control 2	3-1	0,592	7,25
3	Control 2	3-5	0,690	7,25
3	Control 2	3-8	0,530	7,35
4	Tratamiento	4-1	0,574	7,07
4	Tratamiento	4-6	0,617	6,97
4	Tratamiento	4-9	0,673	6,84
4	Control 1	4-2	0,588	7,31
4	Control 1	4-5	0,611	7,17
4	Control 1	4-7	0,619	7,25
4	Control 2	4-3	0,603	7,22
4	Control 2	4-4	0,608	7,12
4	Control 2	4-8	0,645	7,22

La Figura 5 muestra la distribución de la variable MOT entre tres grupos distintos: Tratamiento, Control 1 y Control 2. Cada caja delimita el rango intercuartílico (IQR) de los datos, abarcando desde el cuartil inferior (Q1) al cuartil superior (Q3), y la línea horizontal dentro de la caja indica la mediana. En el grupo Tratamiento, la mediana se observa cercana a 0,75, mientras que para el Control 1 y Control 2, las medianas se aproximan a 0,59 y 0,61 respectivamente. Los bigotes se extienden desde los cuartiles hasta los valores máximos y mínimos no atípicos, proporcionando una visualización de la totalidad del rango de los datos. La variabilidad dentro de cada grupo es evidente por la altura de

las cajas, con el grupo Tratamiento exhibiendo una variabilidad más amplia que los grupos de Control.

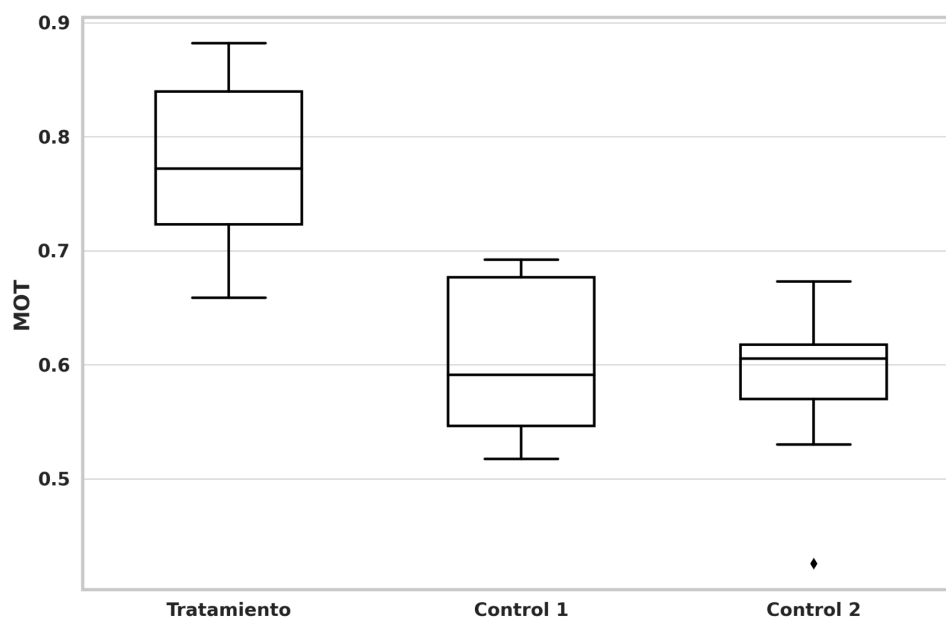


Figura 5. Distribución de la Variable MOT por Grupo.

Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk indican que los datos de todos los grupos (Tratamiento, Control 1 y Control 2) son consistentes con una distribución normal, con p-valores de 0,3893, 0,0530 y 0,0876, respectivamente. Adicionalmente, la prueba de Levene para la homogeneidad de varianzas arrojó un p-valor de 0,3915, lo que sugiere que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Estos hallazgos respaldan la aplicación de análisis estadísticos adicionales que asumen tanto la normalidad de los datos como la homogeneidad de varianzas.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado sobre los grupos Tratamiento, Control 1 y Control 2 (Tabla 5), reveló diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos. Con un estadístico F de 26,0546 y un p-valor extremadamente bajo ($<0,0001$), los resultados indican que al menos uno de los grupos muestra diferencias significativas en términos de la variable MOT en comparación con los demás.

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable MOT entre los grupos de estudio.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	g.l.	Estadístico F	p-valor
Grupos	0,25723	2	26,054	$<0,0001$
Residuos	0,16290	33		

El test de Tukey mostró que la diferencia media entre los grupos Control 1 y Control 2 es de -0.0196, con un p-valor ajustado de 0.7579, indicando que no hay diferencias estadísticamente significativas entre estos dos grupos (Tabla 6). Por otro lado, la diferencia media entre Control 1 y Tratamiento es de 0.1687 (p-valor ajustado = 0.0010), y entre Control 2 y Tratamiento es de 0.1883 (p-valor ajustado = 0.0010), ambas diferencias son estadísticamente significativas. Estos resultados sugieren que el tratamiento tiene un impacto significativo en comparación con los controles.

Tabla 6. Comparación Múltiple de Medias mediante el Test de Tukey.

Grupo 1	Grupo 2	Mean diff.	p-adj
Control 1	Control 2	-0,0196	0,7579
Control 1	Tratamiento	0,1687	0,001
Control 2	Tratamiento	0,1883	0,001

4. Discusión

El estudio ha demostrado la significativa contribución de *Diplodon chilensis* en el contenido de materia orgánica de los sedimentos en ecosistemas lénticos eutrofizados. Esta contribución se manifiesta principalmente en el incremento de la materia orgánica total, sugiriendo un proceso activo de biodeposición, que podría llegar a significar un aumento de 1,4% al año, y tomando en cuenta la longevidad que presentan estos individuos, podría indicar un impacto significativo en los ecosistemas acuáticos.

Datos obtenidos por McCasker & Humphries (2021) evidencian la diferencia positiva entre la respuesta al tratamiento versus los controles, sin embargo, no es posible comparar directamente los resultados obtenidos en ese estudio con los de este, dado principalmente por las diferentes condiciones experimentales (ecosistema lótico en lugar de léntico, duración de 2 semanas en lugar de 6, especies diferentes, etc), además de que los resultados presentados por ellos se encontraban en una unidad de medida diferente. Importante mencionar también que las tasas de biodeposición y excreción varían en función de la especie, el tamaño del bivalvo, la calidad y cantidad de los alimentos, la temperatura y el tiempo de residencia del agua (Christian et al., 2008; Collier et al., 2018; Vaughn et al., 2004).

Estos resultados no solo confirman la capacidad biofiltradora de *Diplodon chilensis*, sino que también abren nuevas preguntas sobre el papel de estos organismos en la estructuración de las comunidades bentónicas y la red trófica en su conjunto. La acumulación de materia orgánica en los sedimentos puede tener implicaciones significativas para la biodiversidad del ecosistema. Por un lado, incrementa la

disponibilidad de recursos para organismos descomponedores y detritívoros, potencialmente aumentando la diversidad y abundancia de estas comunidades. Por otro lado, podría influir en los procesos físico-químicos del sedimento, como la oxigenación y la liberación de nutrientes, afectando la calidad del agua y la productividad primaria del ecosistema.

Aunque otros estudios han documentado efectos similares en bivalvos de agua dulce, como Unionidae y Hyriidae, la investigación sobre *Diplodon chilensis* añade una dimensión valiosa al entender estos procesos en el hemisferio sur y en ecosistemas lénticos específicamente. Las diferencias en las respuestas ecológicas y los procesos biogeoquímicos entre los ecosistemas lóticos y lénticos resaltan la importancia de realizar estudios dirigidos que consideren la singularidad de cada tipo de ecosistema. La comparación con otros estudios también debe considerar las diferencias en las escalas temporales y espaciales de la biofiltración. Mientras que algunos estudios se enfocan en efectos a corto plazo y en escalas pequeñas, otros analizan cambios a largo plazo y en escalas más amplias de ecosistemas. Entender cómo *Diplodon chilensis* influye en estas diferentes escalas puede proporcionar información crucial para la gestión y restauración de ecosistemas.

El papel de *Diplodon chilensis* como un agente natural en la restauración ecológica de lagos eutróficos se alinea con un enfoque más holístico y sostenible en la gestión de ecosistemas. Su capacidad para influir en la calidad de los sedimentos y potencialmente en la calidad del agua sugiere que los bivalvos pueden ser fundamentales en la mitigación de problemas ambientales como la eutrofización. Sin embargo, la implementación de estrategias de restauración que involucren a *Diplodon chilensis* requiere una comprensión detallada de sus interacciones con otras especies y procesos ecosistémicos. Por ejemplo, la relación entre *Diplodon chilensis* y las comunidades de algas, su impacto en la dinámica de nutrientes y la influencia de factores abióticos como la temperatura y la luz, son aspectos cruciales que deben ser considerados para maximizar el éxito de las estrategias de restauración.

Mientras que este estudio ha proporcionado información valiosa sobre el papel de *Diplodon chilensis* en ecosistemas lénticos, también es crucial reconocer sus limitaciones (Ubicación de cajas, duración del experimento, escalas temporales y espaciales de la biofiltración, y que no hay datos comparativos de la misma especie). La replicación de este estudio en diferentes contextos ecosistémicos y con variaciones en la densidad de *Diplodon chilensis* no solo ayudaría a validar los resultados, sino también a comprender la variabilidad y la generalidad de los efectos observados. Futuras investigaciones podrían explorar, por ejemplo, la interacción de *Diplodon chilensis* con contaminantes emergentes, su respuesta a eventos extremos relacionados con el cambio climático y su papel en la red trófica de ecosistemas lénticos más complejos. Además, estudios que integren métodos moleculares podrían revelar los mecanismos microbianos subyacentes a la biofiltración y biodeposición, proporcionando una comprensión más profunda de estos procesos.

Este estudio amplía significativamente nuestro entendimiento sobre el papel ecológico de *Diplodon chilensis* en ecosistemas lénticos eutrofizados. La capacidad de estos bivalvos para influir en la calidad de los sedimentos y, potencialmente, en la calidad del agua, resalta su importancia en la dinámica de estos ecosistemas y su potencial en la restauración ecológica. Sin embargo, para aprovechar plenamente este potencial, es esencial una comprensión holística de sus interacciones bióticas y abióticas, y cómo estas se ven influenciadas por factores ambientales y antropogénicos.

La investigación futura debe orientarse hacia una exploración más detallada de estos aspectos, considerando la variabilidad natural y las respuestas específicas de *Diplodon chilensis* en diferentes contextos ecosistémicos. Al hacerlo, podemos avanzar hacia estrategias de gestión y restauración de ecosistemas acuáticos más efectivas y basadas en una comprensión profunda de la biodiversidad y los procesos ecológicos.

5. Conclusiones

1. *Diplodon chilensis* demostró una significativa capacidad de biofiltración en ecosistemas lénticos eutróficos, contribuyendo activamente a la mejora de la calidad de los sedimentos a través del incremento de la materia orgánica total.
2. Los resultados indican que *Diplodon chilensis* juega un rol crucial en la biodeposición y potencialmente en la ciclación de nutrientes, lo que podría tener implicaciones positivas para la estructura y función del ecosistema.
3. La comparación con estudios previos sugiere que los efectos observados en *Diplodon chilensis* son consistentes con los reportados para otros bivalvos de agua dulce en diferentes contextos geográficos y ecosistémicos, subrayando la relevancia de estos organismos en la dinámica ecológica de ecosistemas acuáticos.
4. Los hallazgos resaltan el potencial de *Diplodon chilensis* como agente natural en la restauración ecológica de lagos eutróficos, sugiriendo que su integración en estrategias de manejo y restauración podría ser beneficiosa para mitigar problemas ambientales como la eutrofización.

6. Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este estudio. En particular, deseo destacar el apoyo del proyecto FONDECYT 1231089, cuyo financiamiento fue esencial para el desarrollo de la investigación.

Mi gratitud se extiende a todos los miembros del equipo de investigación, cuya dedicación, conocimiento y colaboración fueron relevantes para alcanzar los objetivos del estudio. Asimismo, agradecer a las instituciones y colaboradores que proporcionaron acceso a las instalaciones, equipos y entornos naturales necesarios para la recolección de datos y la realización de experimentos.

7. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son 17 objetivos globales interconectados diseñados para ser un “plan para lograr un futuro mejor y más sostenible para todos” (ONU, 2017). Los ODS fueron establecidos en 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas y se pretende alcanzarlos para 2030.

En el marco de los objetivos de desarrollo sostenible, esta investigación está directamente relacionada con la protección y restauración ecológica de ecosistemas.

Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento

Las masas de agua superficial, como lagos, ríos y embalses, están experimentando rápidos cambios en todo el mundo, y una de cada cinco cuencas fluviales muestra grandes fluctuaciones de los niveles de agua superficial en los últimos 5 años (ONU, 2017). En muchos países, la contaminación del agua plantea un considerable desafío para la salud humana y el medioambiente. La contribución específica del estudio sería su potencial uso como biofiltro.

Las metas relacionadas son:

- **6.5:** Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles.
- **6.6:** Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los lagos.

Objetivo 15: Vida de ecosistemas terrestres

La creciente tendencia a la pérdida de los bosques, la degradación del suelo y la extinción de las especies constituyen una grave amenaza tanto para el planeta como para las personas. Para cumplir el Objetivo 15, es esencial un cambio fundamental en la relación de la humanidad con la naturaleza, junto con una rápida acción para abordar las principales causas de estas crisis interconectadas y para un mejor reconocimiento del enorme valor de la naturaleza (ONU, 2017). La contribución específica del estudio sería la mayor disponibilidad de datos para la protección de la especie.

Las metas relacionadas son:

- **15.1:** Velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan.
- **15.5:** Adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de la diversidad biológica, proteger las especies amenazadas y evitar su extinción.

8. Bibliografía

- Aldridge, D. W., Payne, B. S., & Miller, A. C. (2007). The effects of intermittent exposure to suspended solids and turbulence on the behavior of juvenile mussels. *Journal of the North American Benthological Society*, 8(1), 1-12. DOI: 10.2307/1467948
- Atkinson, C. L., Vaughn, C. C., Forshay, K. J., & Cooper, J. T. (2010). Aggregated filter-feeding consumers alter nutrient limitation: consequences for ecosystem and community dynamics. *Ecology*, 91(6), 1629-1640. DOI: 10.1890/09-0659.1
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559-568.
[DOI:10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0559:NPOSWW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2)
- Graf, D. L., & Cummings, K. S. (2007). Review of the systematics and global diversity of freshwater mussel species (Bivalvia: Unionoida). *Journal of Molluscan Studies*, 73(4), 291-314. DOI: 10.1093/mollus/eym029
- Gutiérrez, J. L., Jones, C. G., Strayer, D. L., & Iribarne, O. O. (2003). Mollusks as ecosystem engineers: the role of shell production in aquatic habitats. *Oikos*, 101(1), 79-90. DOI: 10.1034/j.1600-0706.2003.12322.x
- Haag, W. R. (2012). *North American freshwater mussels: natural history, ecology, and conservation*. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/CBO9781139048217
- Higgins, S. N., & Vander Zanden, M. J. (2010). What a difference a species makes: a meta-analysis of dreissenid mussel impacts on freshwater ecosystems. *Ecological Monographs*, 80(2), 179-196. [DOI: 10.1890/09-1249.1](https://doi.org/10.1890/09-1249.1)
- Howard, J. K., & Cuffey, K. M. (2006). The functional role of native freshwater mussels in the fluvial benthic environment. *Freshwater Biology*, 51(3), 460-474. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2005.01479.x
- IUCN. (2011). *Diplodon chilensis*: Bogan, A.E. & Cummings, K. The IUCN Red List of Threatened Species 2011: e.T189076A8675023. [DOI: 10.2305/iucn.uk.2011-2.rlts.t189076a8675023.en](https://doi.org/10.2305/iucn.uk.2011-2.rlts.t189076a8675023.en)
- Jeppesen, E., Søndergaard, M., Jensen, J. P., Havens, K. E., Anneville, O., Carvalho, L., et al. (2005). Lake responses to reduced nutrient loading—an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biology*, 50(10), 1747-1771. [DOI: 10.1111/j.1365-2427.2005.01415.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01415.x)
- Kristensen, E. (1988). Benthic fauna and biogeochemical processes in marine sediments: microbial activities and fluxes. *Nitrogen cycling in coastal marine environments*, 275-299. DOI: 10.1002/9780470510516.ch10
- McCasker, N., & Humphries, P. (2021). Hyriid mussels (Unionoida) enhance benthic organic matter and meiofauna densities in a temperate Australian river. *Freshwater Biology*. 66, 936-948.
- Mermillod-Blondin, F. (2011). The functional significance of bioturbation and biodeposition on biogeochemical processes at the water-sediment interface in freshwater and marine ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 30(3), 770-778. [DOI: 10.1899/10-121.1](https://doi.org/10.1899/10-121.1)

- ONU (2017) Resolution adopted by the General Assembly on 6 July 2017, Work of the Statistical Commission pertaining to the 2030 Agenda for Sustainable Development.
- Parada, E., Peredo, S., Lara, G., & Valdebenito, I. (1989). Growth, age and life span of the freshwater mussel *Diplodon chilensis chilensis* (GRAY, 1828). *Archiv für Hydrobiologie*, 115, 563-575. DOI: [10.1127/archiv-hydrobiol/115/1989/563](https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/115/1989/563)
- Pereira, D., Mansur, M. C. D., Duarte, L. D. S., de Oliveira, A. S., Pimpão, D. M., Callil, C. T., et al. (2017). Bivalve distribution in hydrographic regions in South America: historical overview and conservation. *Hydrobiologia*, 789(1), 73-96. DOI: 10.1007/s10750-016-2949-7
- Phelps, H. L. (2000). Molluscan invasions in marine and estuarine communities. *Marine Bioinvasions: Proceedings of the First National Conference*, 63-74.
- Rhoads, D. C., & Young, D. K. (1970). The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. *Journal of Marine Research*, 28(2), 150-178.
- Riisgård, H. U., Luskow, F., Pleissner, D., Lundgreen, K., & López, M. Á. P. (2014). Effect of salinity on filtration rates of mussels *Mytilus edulis* with special emphasis on dwarfed mussels from the low-saline Central Baltic Sea. *Helgoland Marine Research*, 68(2), 193-204. DOI: [10.1007/s10152-014-0389-4](https://doi.org/10.1007/s10152-014-0389-4)
- Rogers, R. L., Grizzard, S. L., Titus-McQuillan, J. E., et al (2020). *Gene family amplification facilitates adaptation in freshwater Unionid bivalve Megaloniaias nervosa*. DOI: [10.1111/mec.15786](https://doi.org/10.1111/mec.15786)
- Smith, V. H., & Schindler, D. W. (2009). Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology & Evolution*, 24(4), 201-207. DOI: [10.1016/j.tree.2008.11.009](https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.11.009)
- Søndergaard, M., Jensen, J. P., & Jeppesen, E. (2003). Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 506(1-3), 135-145. DOI: [10.1023/B:HYDR.0000008611.12704.dd](https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000008611.12704.dd)
- Sousa, R., Antunes, C., & Guilhermino, L. (2008). Ecology of the invasive Asian clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in aquatic ecosystems: an overview. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 44(2), 85-94. DOI: 10.1051/limn:2008017
- Spooner, D., & Vaughn, C. (2006). Context-dependent effects of freshwater mussels on stream benthic communities. *Freshwater Biology*, 51, 1016-1024.
- Strayer, D. (2014). Understanding how nutrient cycles and freshwater mussels (Unionoida) affect one another. *Hydrobiologia*, 735, 277–292. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1461-5>
- Strayer, D. L., Caraco, N. F., Cole, J. J., Findlay, S., & Pace, M. L. (2004). Transformation of freshwater ecosystems by bivalves: a case study of zebra mussels in the Hudson River. *BioScience*, 54(1), 19-27. DOI: [10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0019:TOFEBB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0019:TOFEBB]2.0.CO;2)
- Strayer, D. L., Downing, J. A., Haag, W. R., King, T. L., Layzer, J. B., Newton, T. J., & Nichols, S. J. (2004). Changing perspectives on pearly mussels, North America's

- most imperiled animals. *BioScience*, 54(5), 429-439. DOI: 10.1641/0006-3568(2004)054[0429:CP
- Vadeboncoeur, Y., Jeppesen, E., Vander Zanden, M. J., Schierup, H. H., Christoffersen, K., & Lodge, D. M. (2008). From Greenland to green lakes: cultural eutrophication and the loss of benthic pathways in lakes. *Limnology and Oceanography*, 53(5), 1732-1742. DOI: [10.4319/lo.2008.53.5.1732](https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.5.1732)
- Valdovinos C & P Pedreros (2007) Geographic variations in shell growth rates of the mussel *Diplodon chilensis* from temperate lakes of Chile: implications for biodiversity conservation. *Limnologia* 37:63-75.
- Vaughn, C. C. (2018). Ecosystem services provided by freshwater mussels. *Hydrobiologia*, 810(1), 15-27. DOI: [10.1007/s10750-017-3139-x](https://doi.org/10.1007/s10750-017-3139-x)
- Vaughn, C. C., & Hakenkamp, C. C. (2001). The functional role of burrowing bivalves in freshwater ecosystems. *Freshwater Biology*, 46(11), 1431-1446. DOI: [10.1046/j.1365-2427.2001.00771.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00771.x)