



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRÁFICAS

**VARIACIONES ESTACIONALES DE COMUNIDADES DIATOMOLÓGICAS
EN HUMEDALES DE HUALPÉN**

Por: Alejandro Andrés Torres Espinoza

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la
Universidad de Concepción para optar al grado de Biólogo

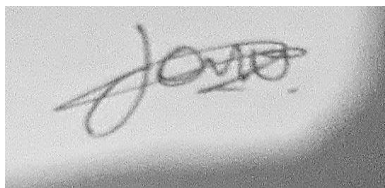
Profesor Guía: Dra. Fabiola Cruces López

Marzo 2022
Concepción, Chile

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Quien suscribe, Alejandro Andrés Torres Espinoza, 18.685.183-8 alumno de la carrera de Biología, de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, de la Universidad de Concepción, declara ser autor de **“Variaciones estacionales de comunidades diatomológicas en humedales de Hualpén”** y conceder derecho de publicación, comunicación al público y reproducción de esa obra, en forma total o parcial en cualquier medio y bajo cualquier forma del mismo, a la Universidad de Concepción, Chile, para formar parte de la colección material o digital de cualquiera de las bibliotecas de la Universidad de Concepción y del Repositorio UDEC. Esta autorización es de forma libre y gratuita, y considera la reproducción de la obra con fines académicos y de difusión tanto nacional como internacionalmente.

Asimismo, quien suscribe declara que dicha obra no infringe derechos de autor de tercero.



.....

Agradecimientos

Quiero agradecer a la profesora Dra. Fabiola Cruces, por sus enseñanzas, paciencia y apoyo durante estos años de mi trabajo. También, agradecer a mi familia, por apoyarme durante toda mi formación profesional con su apoyo personal.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
- Índice de tablas.....	ii
- Índice de ilustraciones.....	iii y iv
- Resumen	1
- <i>Abstract</i>	3
- Introducción	4
- Materiales y métodos.....	13
- Resultados... ..	20
-Discusión	38
-Conclusión	43
-Bibliografía	45

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
-Tabla 1: Categorías de calidad de agua para los índices diatomológicos.....	19
-Tabla 2: Valores de parámetros fisicoquímicos registrados en los humedales estudiados en el primer año.....	23
-Tabla 3: Valores de parámetros fisicoquímicos registrados en los humedales estudiados en el segundo año.....	24
-Tabla 4: Géneros de diatomeas encontrados en canal Ifarle durante el primer año de estudio	25
-Tabla 5: Géneros de diatomeas encontrados en estuario Lenga durante el primer año de estudio.....	26
-Tabla 6: Géneros de diatomeas encontrados en el canal Ifarle durante el segundo año de estudio.....	27
-Tabla 7: Géneros de diatomeas encontrados en el estuario Lenga durante el segundo año de estudio.....	28
-Tabla 8: Valores de índice GDI de calidad de agua humedal Ifarle.	34
-Tabla 9: Valores de índice GDI de calidad de agua humedal Lenga.....	34
-Tabla 10: Valores de diversidad de Shannon-Weaver en los humedales estudiados	36

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Página
-Figura 1: Área de estudio.....	13
-Figura 2: Formula de Zelinka & Marvan (1961)	18
-Figura 3: Fotografías de algunos géneros relevantes encontrados en humedal Ifarle.....	24
-Figura 4: Fotografías de géneros relevantes encontrados en humedal Lenga. ...	25
-Figura 5: Numero de géneros de diatomeas encontrados en estuario Lenga por estaciones del año durante el primer año de estudio.	29
-Figura 6: Numero de géneros de diatomeas encontrados en estuario Lenga por estaciones del año durante el segundo año de estudio.	29
-Figura 7: Numero de géneros de diatomeas encontrados en humedal Ifarle por estaciones del año durante el primer año de estudio.....	30
-Figura 8: Numero de géneros de diatomeas encontrados en humedal Ifarle por estaciones del año durante el segundo año de estudio.	30
-Figura 9: Temperaturas registradas en humedal Ifarle por estaciones durante ambos años de estudio.....	31
-Figura 10: Conductividades registradas en humedal Ifarle por estaciones durante ambos años de estudio.....	31
-Figura 11: Valores de pH registrados en humedal Ifarle por estaciones durante ambos años de estudio.....	32
-Figura 12: Temperaturas registradas en estuario Lenga por estaciones durante ambos años de estudio.....	32
-Figura 13: Conductividades registradas en estuario Lenga por estaciones durante ambos años de estudio.....	33

-Figura 14: Valores de pH registrados en estuario Lengua por estaciones durante ambos años de estudio.....	33
-Figura 15: Graficas de valores de diversidad de Shannon-Weaver en los humedales estudiados.....	35
-Figura 16: Análisis de redundancia (RDA) entre los géneros de comunidades de diatomeas y variables fisicoquímicas en el humedal Ifarle.....	37

RESUMEN

Los humedales son ecosistemas acuáticos que albergan una gran diversidad de organismos y proporcionan importantes servicios ecosistémicos. No obstante, en Chile el conocimiento que se tiene sobre ellos es muy escaso, e incluso inexistente en algunos casos. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es evaluar las variaciones estacionales de las comunidades de diatomeas de dos humedales ubicados en la comuna de Hualpén (VIII Región, Chile). Para lograr lo anterior, se obtuvieron muestras de diatomeas planctónicas y bentónicas que permitieron la caracterización de las comunidades de diatomeas en los humedales estudiados, y determinar sus variaciones estacionales e interanuales. También se calculó el índice GDI correspondiente a la calidad de agua y se analizaron las variables biológicas y fisicoquímicas de los humedales considerados mediante análisis multivariados. Los resultados obtenidos en este estudio permiten dar un primer paso en el conocimiento de la biodiversidad microalgal, específicamente las comunidades diatomológicas presentes en estos ecosistemas acuáticos,

contribuyendo con información que pueda ser utilizada en futuras medidas de recuperación o conservación que se quiera implementar en ellos.

ABSTRACT

The wetlands are aquatic ecosystems that are home to a great diversity of organisms and provide important ecosystem services. However, in Chile the knowledge about them is very scarce, and even non-existent in some cases. Therefore, the objective of this work is to evaluate the seasonal variations of the diatom communities of two wetlands located in the Hualpén (VIII Region, Chile). To achieve the above, samples of planktonic and benthic diatoms will be obtained that will allow the characterization of diatom communities in the wetlands studied, and determine their seasonal and interannual variations. The GDI index corresponding to water quality was also calculated and the biological and physicochemical variables of the wetlands considered were analyzed by multivariate analysis. The results obtained in this study will allow a first step in the knowledge of microalgal biodiversity, specifically the diatomological communities present in these aquatic ecosystems, contributing with information that can be used in future recovery or conservation measures that are to be implemented in them.

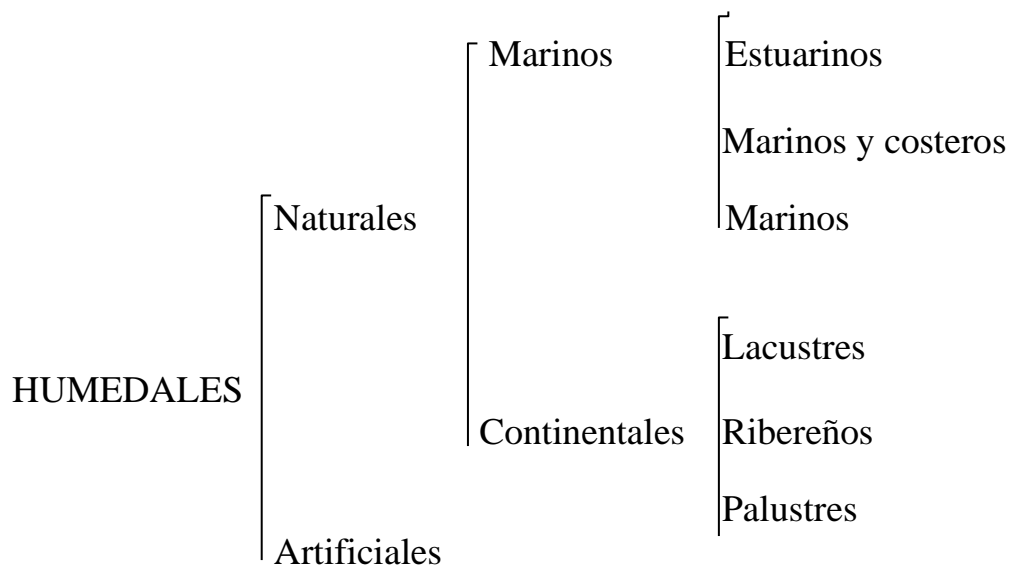
INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos siempre son un foco de atención importante en las poblaciones humanas, puesto que una buena parte de las actividades que realiza el hombre se hacen entorno a estos ecosistemas. Un tipo de ecosistema acuático lo constituyen los humedales, los que según Dugan en 1992, se definen como extensiones de pantanos de interior o costeros, aguas de régimen natural o artificial, estancadas o corrientes, permanentes o temporales, dulces o saladas, incluyendo extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no sobrepase los seis metros. Estos cumplen importantes roles para los ecosistemas y para las comunidades humanas cercanas a ellos, como por ejemplo ser parte de hábitat para aves migratorias, áreas de biodiversidad, además de ayudar a la retención de aguas lluvia, reducir inundaciones de las mismas, recarga de agua y carbono al suelo, retención de sedimentos y nutrientes, control de erosión y recreación y turismo (Möller & Muñoz-Pedrerros, 1998).

Dentro del concepto de humedal, la convención de Ramsar agrega que

podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal.

De acuerdo con el esquema extraído de Möller y Muñoz-Pedrerros (1998), los humedales pueden ser agrupados de la siguiente forma:



Considerando la convención de Ramsar, en Chile solo hay 14 puntos Ramsar designados, lo que corresponde a 362.020 hectáreas, de las cuales de acuerdo a la página web del Ministerio de Medio Ambiente en Chile hay un total de 1.460.400 hectáreas, lo cual indica un bajo porcentaje del total existente en el país.

Los humedales al ser fuentes de agua son habitados por una gran variedad de organismos acuáticos, los que varían de acuerdo al tipo de humedal y la permanencia del mismo. Sin embargo, los humedales tanto temporales como permanentes, congregan innumerables organismos que dependen, al menos en algún momento de su ciclo de vida, de las condiciones allí presentes (Blendinguer, 2001). Dentro de estos organismos se encuentran las microalgas, las que pueden habitar diferentes tipos de sustratos (fitobentos) dentro del mismo humedal, o pueden encontrarse flotando (fitoplancton) en la columna de agua. La abundancia y composición del fitobentos y del fitoplancton en los ecosistemas acuáticos están reguladas por factores hidrológicos, físicos y químicos (Hynes, 1970), los que varían a lo largo del año dependiendo de las variaciones estacionales.

Por otra parte, la producción primaria de los ecosistemas acuáticos está vinculada con la calidad del agua, los procesos biogeoquímicos, incluyendo el intercambio de CO₂ entre el océano y la atmósfera (Cloern *et al.*, 2014). Las microalgas tienen diferentes estrategias para sobrevivir

bajo diferentes condiciones limnológicas, por lo que es importante tener en consideración las condiciones tróficas, intensidad de la luz, nutrientes disponibles y eventos hidrológicos para entender la ecología de las microalgas y el remplazo de especies en los ecosistemas (Reynolds, 2006; Zohary *et al.*, 2010). Por otra parte, las microalgas son un componente fundamental, tanto en el fitoplancton como en fitobentos de los ecosistemas acuáticos continentales (King *et al.*, 2000), con un rol ecológico esencial en la producción de biomasa y en la fijación de CO₂. Dentro de las microalgas, las diatomeas presentan importantes cualidades que las convierten en valiosos bioindicadores, entre éstas se encuentra su riqueza y diversidad de especies (Dixit *et al.*, 1992; McCormick & Cairns, 1994).; por su presencia en todos los ambientes acuáticos, por lo que las mismas especies pueden ser comparadas para diferentes hábitat como lagos, humedales y ríos (Datta *et al.*, 2019); por su rol ecológico en las tramas tróficas, y la más importante es su elevada sensibilidad a los cambios en la columna de agua, por lo que responden rápidamente frente a cambios en las condiciones químicas del agua, como por ejemplo cambios en el pH, nutrientes, salinidad, entre otros (Stevenson & Pan, 1999). Estos cambios pueden ser el resultado directo de cambios ocurridos en la columna de agua, o pueden ser el resultado de

cambios o eventos ocurridos en la cuenca y que de forma indirecta afectan la calidad del agua, como son por ejemplo eventos volcánicos o cambios en el uso del suelo (Hering *et al.*, 2006; Rott *et al.*, 2003).

Por otra parte, la dinámica de las comunidades es altamente variable, presentando cambios en la presencia y dominancia de las especies que las componen, y dentro de este marco el hombre puede estar estrechamente relacionado con estos cambios (Fariña & Camaño, 2012), considerando que estos ecosistemas suelen estar cercanos a poblaciones, lo que puede generar cambios en las comunidades encontradas. Esta variabilidad de las comunidades las ha llevado a ser consideradas grandes bioindicadores de calidad de agua en los cuerpos donde son encontradas como por ejemplo un índice derivado de esta capacidad es el GDI (Índice Genérico de Diatomeas), basado en la composición de dichas comunidades presentes (Rumeau & Coste, 1988).

Como se ha descrito previamente, la importancia de los humedales y las diatomeas es innegable, sin embargo, la población no presenta un gran interés en el cuidado, preservación y estudio de los microorganismos que habitan estos lugares, además estos ecosistemas son altamente alterables

por la acción antrópica, además de las climáticas, siendo la primera, capaz de influir en los niveles de agua de los mismos (Kusler *et al.*, 1994). El agua que contienen los humedales principalmente proviene por las fuentes de agua que incorporan de manera natural en ciclos, como la lluvia, los desbordamientos y el agua subterránea por el ciclo natural del agua (Wheeling, 2005). Además de considerar su cercanía a zonas urbanas los humedales están constantemente sujetos a presiones externas como son, el ingreso de nutrientes, sedimentos y otros tipos de contaminantes, lo que puede alterar las comunidades biológicas que se desarrollan en ellos (Cevallos, 2018).

Los humedales como sistemas ecológicos, incluyendo los artificiales o construidos, son influenciados por procesos biológicos, fisicoquímicos y antrópicos variados, por lo que mantener un balance adecuado entre éstos es fundamental para asegurar su permanencia a través del tiempo. El desconocimiento de la población y la falta de estudios en estas zonas incrementan el riesgo de deterioro o desaparición de estos ecosistemas. Por lo tanto, es necesario conocer las características hidrológicas y biológicas que presenta cada uno de ellos, de manera de tener información esencial a la hora de tomar medidas de manejo o conservación de los

humedales.

Con todo lo previamente planteado y considerando el vacío de conocimiento que hay sobre los humedales urbanos en la comuna de Hualpén, surge la necesidad de realizar investigaciones que contribuyan a generar información respecto a sus características físicas, químicas y biológicas. Esta información es vital para cualquier plan de protección de estos ecosistemas y de valoración de sus servicios ecosistémicos, teniendo presente el constante peligro que enfrentan muchos de estos ecosistemas por varias causas antropogénicas, como la industria inmobiliaria día a día.

Por lo tanto, la pregunta de investigación que inicia esta tesis comienza desde este desconocimiento sobre las comunidades de diatomeas presentes en los humedales urbanos de Hualpén y cómo cambian en el paso del tiempo

HIPOTESIS

De acuerdo con lo anteriormente expuesto se plantean las siguientes hipótesis.

1. Dada las diferencias existentes en las características y el entorno que presenta cada humedal habrá diferencias en la composición de las comunidades de diatomeas presentes en cada uno de ellos.
2. Dado que durante las diferentes estaciones del año cambian las condiciones ambientales que influyen los cuerpos de agua, entonces las comunidades de diatomeas responderán frente a estas variaciones con cambios en las comunidades presentes en estos ecosistemas.

OBJETIVO GENERAL

Establecer la composición y variación de las comunidades de diatomeas en dos humedales ubicados en la comuna de Hualpén (VIII Región, Chile).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la composición (riqueza y abundancia) de las comunidades de diatomeas presentes en los sitios de estudio.
2. Establecer diferencias en la composición de las comunidades diatomológicas entre los dos sitios de estudio.
3. Establecer variaciones estacionales en la composición de las comunidades de diatomeas en los sitios de estudio.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

El estudio propuesto se realizó en dos humedales pertenecientes a la comuna de Hualpén. Canal Ifarle ($36^{\circ}48'S$; $73^{\circ} 4'O$) y Estuario Lenga ($36^{\circ}46'S$; $73^{\circ}10'O$).

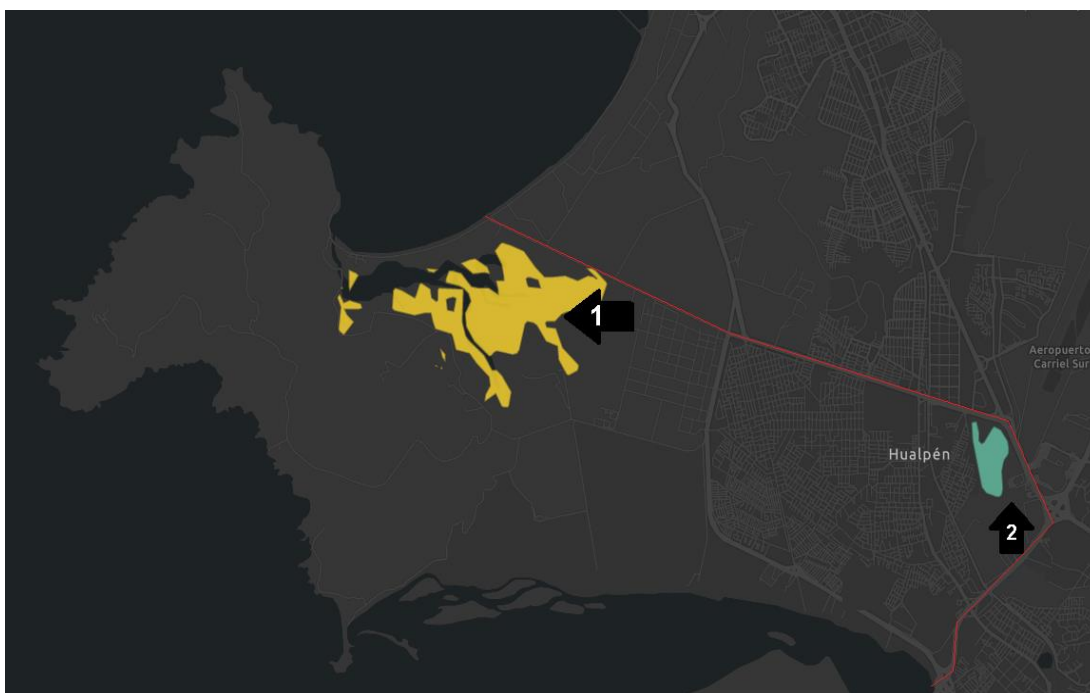


Figura 1. Ubicación de los humedales estudiados en la comuna de Hualpén. 1: Estuario Lenga; 2: Canal Ifarle. Línea roja: Límite comunal.

La flora típica de estos sistemas acuáticos es Tifa (*Thypha dominguensis*), Totorá (*Scirpus californicus*), Lenteja de agua (*Lemna minor*), Junco (*Juncus sp.*), Polygonum (*Polygonum persicaria*), Vatro

(*Carex pseudocyperus*) y Sombrerito de agua (*Hydrocotyle ranunculoide*), esta es la flora que fue utilizada para la toma de las muestras.

La fauna particularmente cambia de humedal en humedal, pero es posible encontrar una variedad de aves en los humedales de agua dulce (canal Ifarle) como Garza chica (*Egretta thula*), Pato jergón grande (*Anas geórgica*), Zoral (*Turdus falklandii*), Trile (*Agelaius thilius*) y Chercan de las vegas (*Cistothorus platensis*), en cuanto al estuario Lenga hay un cambio frente a los anteriores, y se pueden encontrar, Cisne cuello negro (*Cygnus melancoryphus*), Cisne blanco (*Coscoroba coscoroba*), Piden (*Pardirallus sanguinolentus*), Perrito (*Himantopus melanurus*). Esta fauna es partícipe de los ecosistemas acuáticos estudiados, marcando relevancia en su conservación y mantención óptima para la calidad del agua.

El canal Ifarle correspondiente a una parte del humedal Vasco de Gama, es un humedal de tipo artificial, que consiste en canales de transportación y drenaje. El estuario Lenga ubicado en la península de Hualpén, donde se encuentra la Caleta Lenga, tiene un tamaño de 6 Km², es un humedal

de tipo marino donde existen zonas inundadas por agua saladas por los flujos de alta marea, esta información antes mencionada fue obtenida desde la Guía de Campo: “Humedales urbanos de Hualpén”

En cuanto a las condiciones meteorológicas de la zona, ésta tiene precipitaciones promedio por año de 1130mm, siendo el mes de enero el más cálido, con un promedio de 22,1°C y el más frío Julio con 5,9°C (Meteorológica de Chile, 2016) (Tume *et al.*, 2018).

Obtención y análisis de muestras diatomológicas

En cada sitio de estudio se muestrearon comunidades de diatomeas bentónicas y planctónicas. Para la colecta de muestras de comunidades de diatomeas bentónicas se realizó a partir del raspado y/o cepillado de piedras sumergidas en las orillas o raíces superficiales de plantas cercanas a la misma. En cuanto a las muestras de comunidades planctónicas, estas fueron colectadas mediante la toma superficial de agua del humedal mediante una botella o frasco transparentes a unos metros de la orilla.

Para la obtención de las muestras de diatomeas se tomaron dos replicas

en cada sitio de muestreo, Completada la extracción de las diatomeas, éstas fueron traspasadas a un recipiente plástico con agua y etanol al 70% para su conservación hasta proceder a su análisis en laboratorio.

El transporte, almacenamiento y conservación de las muestras fue realizado siguiendo los protocolos de la DMA en el año 2005, en sus manuales para fitoplancton y fitobentos respectivamente.

La identificación de las especies de diatomeas se basa en la observación de las estructuras presentes en el frústulo, por lo cual es necesario limpiar y eliminar la materia orgánica de las muestras. Para esto se extrajo una alícuota de las muestras de diatomeas obtenidas en terreno, y se oxidaron con ácido sulfúrico concentrado, ácido oxálico y permanganato de potasio según la metodología de Hassle & Fryxell (1970). Luego, se realizaron preparaciones permanentes que fueron montadas con resina Naphrax (ri 1,74).

Cada muestra fue revisada mediante un microscopio óptico (Olympus CX41) a 1000 aumentos. Los taxones se determinaron de acuerdo con literatura taxonómica específica, como Krammer & Lange-Bertalot

(2000; 1991), Rumrich *et al.* (2000), Rivera *et al.* (1982), Lavoie & Hamilton (2008) y Hofmann, Werum, & Lange-Bertalot (2011).

Determinación de las variables fisicoquímicas

Para la caracterización fisicoquímica del agua, en cada punto donde se muestrearon las comunidades de diatomeas, se midió in situ la temperatura, pH, conductividad utilizando medidores portátiles.

Análisis de Resultados

Con los resultados obtenidos en la identificación y conteo de las comunidades de diatomeas en cada sitio estudiado, se determinó la Riqueza de especies (R) presentes en cada humedal y también se calculó el índice de Diversidad de Shannon (H). Los datos de diatomeas fueron analizados con un DCA (Correspondencia sin tendencia) para definir la longitud del gradiente de sus ejes. Con estos resultados los datos biológicos y parámetros fisicoquímicos obtenidos serán analizados mediante un Análisis de Redundancia (RDA), considerando el valor crítico de largo de gradiente recomendado (Leps & Smilauer, 2003), para

explicar el patrón de ordenamiento de estas comunidades. Previamente dichos datos fueron analizados mediante la prueba Shapiro – Wilk para comprobar su normalidad. Los resultados serán graficados en el programa R Project mediante el paquete “vegan”. Para establecer cierta calidad de estos cuerpos de agua se calculará el índice GDI (Índice Genérico de Diatomeas) basado en la fórmula de Zelinka & Marvan 1961. Además, para realizar el análisis comparativo de los taxones encontrados y la relación con los parámetros fisicoquímicos se utilizó el trabajo de Hill et al. 2001, en el cual se clasifican algunos géneros de diatomeas por sus características ecológicas.

Figura 2: Formula de Zelinka & Marvan (1961), en la cual se basan los cálculos del índice diatomológico GDI.

$$\text{ÍNDICE: } \frac{\sum A \cdot s \cdot v}{\sum A \cdot v}$$

Donde, A = abundancia (proporción) del género, v = valor indicador (1-3) del género y s = sensibilidad a la contaminación (1-5) del género.

Tabla 1: Categorías de calidad de agua para el índice diatomológico GDI.

Categorías	GDI
Muy mala calidad	<9
Mala calidad	9-12
Calidad moderada	12-15
Buena calidad	15-17
Excelente calidad	>17

RESULTADOS

En relación a las características fisicoquímicas en el humedal Ifarle durante el primer año de estudio los valores de pH presentaron bajas fluctuaciones exceptuando verano donde se presentó el mayor registro (6,23 pH). La conductividad presentó igualmente su mayor lectura en verano (1476 μ S), la menor en otoño (364 μ S), su mayor temperatura fue registrada en verano (23,7 °C) y la menor en otoño (13,7 °C).

Respecto a las comunidades de diatomeas presentes en el humedal Ifarle, fue posible diferenciar 22 géneros diferentes, siendo primavera el periodo con el mayor número (15), seguido por verano (14). La composición de géneros en este caso nota una mayor variabilidad en cuanto a número de géneros encontrados comparando otoño con las demás estaciones, considerando los periodos cálidos del año (primavera y verano), frente a los periodos fríos (otoño e invierno), se encuentran diferencias en el número y presencia de géneros, por ejemplo, el género *Achnantheidium*, *Cymatopleura* solo presente en el periodo cálido y también encontrado una mayor diversidad de géneros durante este periodo del año.

Otro hallazgo fue que el género *Cyclotella* se encontró en 3 de las 4 estaciones, no encontrándose en otoño, siendo esta la estación del año con menos géneros encontrados. Y en paralelo a esto, podemos decir que el género *Eunotia* está presente en todas las estaciones, además del género *Stenopterobia*, encontrado solamente en primavera.

Durante el segundo año que abarcó el presente estudio, los valores de pH en comparativa al primer año de estudio presentan un grado de aumento. El mayor valor en conductividad fue registrado en primavera (1021 μ S) y la mayor temperatura fue registrada en verano (27,5°C). Respecto a las comunidades diatomológicas, se ve una reducción en el número de géneros totales encontrados (12), con el mayor número de estos encontrados en la temporada de invierno, Dentro de algunos de los géneros no encontrados en este año están: *Cocconeis*, *Ephitemia*, *Encyonema*, *Stenopterobia*.

Por su parte, en el estuario Lenga durante el primer año de estudio la mayor temperatura fue registrada en verano (26,7 °C) al igual que los valores de pH y conductividad más alto de todo el año (7,85 y 50200 μ S respectivamente). Cabe destacar que el estuario Lenga registró su menor

nivel de conductividad en primavera, en comparativa a las otras estaciones. Respecto a las comunidades de diatomeas, presentó un total de 22 géneros diferentes encontrados entre todas las estaciones del año, con su mayor número de géneros diferentes en invierno (15). Dentro de la variedad de géneros encontrados, destaca que el género *Rhopalodia* solo fue encontrado en verano, los géneros *Pantocsekiella* y *Pinnularia* solamente en invierno, *Amphora* solamente en primavera y otoño fue la única estación donde se determinó la presencia del género *Planothidium*.

En este caso se ve cierta diferencia estacional en la presencia de los géneros encontrados, además del hallazgo previamente mencionado, se encontró que en otoño el género *Denticula* no está presente, a diferencia de las otras estaciones del año.

Durante el segundo año de estudio, el estuario Lengua presentó los mayores registros en todos sus parámetros fisicoquímicos en el periodo de verano con 21,8°C, pH 8,97 y una conductividad de 86700µS, siendo estos dos últimos parámetros los más altos encontrados en este ecosistema durante los años de estudio. En relación a las diatomeas, se vio una reducción en el número de géneros encontrados (20), al igual que

el año anterior estudiando el estuario Lengua. Dentro de los géneros ausentes en este año está: *Pantocsekiella*, *Melosira* y *Rhopalodia*. Además de encontrar al género *Entomoneis* en el periodo de primavera este año, el cual no fue registrado previamente en este estudio en el estuario. Al igual que en el humedal Ifarle, se vio una reducción en el número de valvas presentes en las muestras preparadas, posiblemente atribuible a la sequía que enfrenta este cuerpo de agua durante el verano del año actual.

Tabla 2. Valores de parámetros fisicoquímicos registrados en los humedales estudiados en el primer año.

		Canal Ifarle	Estuario Lengua
Otoño	Temperatura (°C)	13,7	14,5
	pH	5,45	6,05
	Conductividad (μS)	364	24130
Invierno	Temperatura (°C)	13,9	14,9
	pH	5,81	5,31
	Conductividad (μS)	684	47100
Primavera	Temperatura (°C)	20,3	21,8
	pH	5,76	6,23
	Conductividad (μS)	536,1	8540
Verano	Temperatura (°C)	23,7	26,7
	pH	6,23	7,85
	Conductividad (μS)	1476	50200

Tabla 3. Valores de parámetros fisicoquímicos registrados en los humedales estudiados en el segundo año.

		Canal Ifarle	Estuario Lenga
Otoño	Temperatura (°C)	x	x
	pH	x	x
	Conductividad (μS)	x	x
Invierno	Temperatura (°C)	14,4	15,8
	pH	6,27	6,80
	Conductividad (μS)	630	61400
Primavera	Temperatura (°C)	21,9	21,7
	pH	6,65	7,09
	Conductividad (μS)	1021	43800
Verano	Temperatura (°C)	27,5	21,8
	pH	7,21	8,97
	Conductividad (μS)	985	86700

x: Datos no obtenidos debido a complicaciones para acceso y movilidad por motivos de pandemia Covid-19.

Figura 3. Fotografías de algunos géneros relevantes encontrados en humedal Ifarle. (1. Ephitemia, 2. Cymatopleura, 3. Gomphonema, 4. Nitzschia)

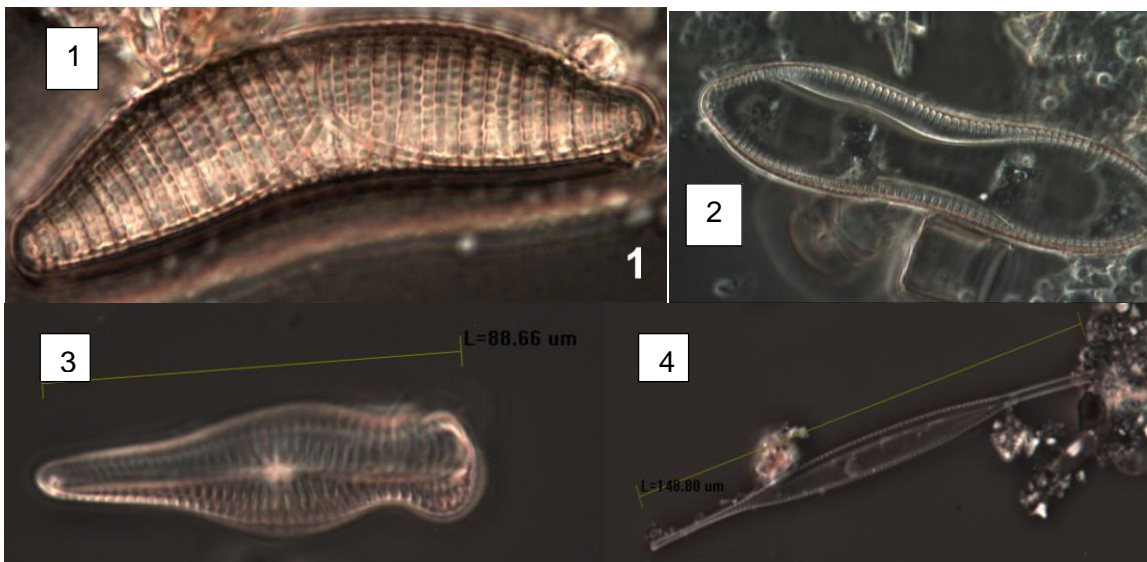


Figura 4. Fotografías de géneros relevantes encontrados en humedal Lengua. (1. Diploneis, 2. Gyrosigma, 3. Cocconeis, 4. Rhopalodia)

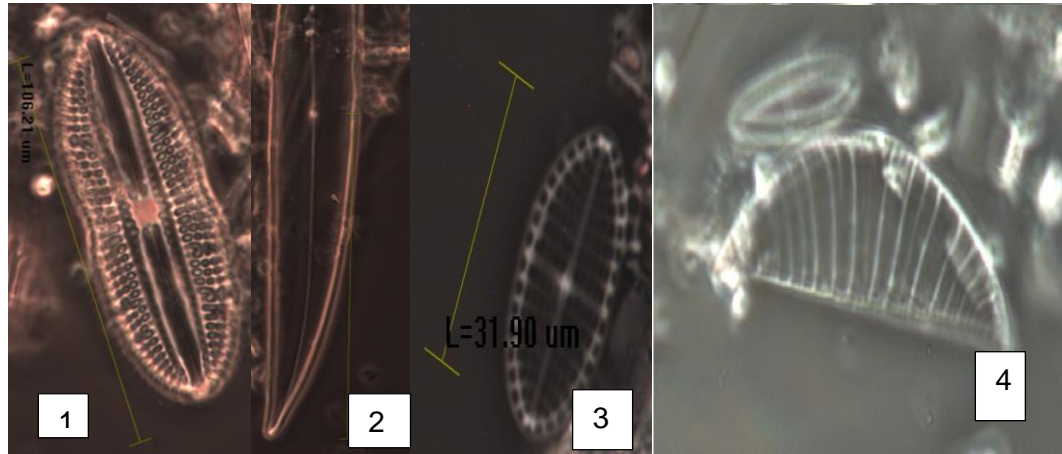


Tabla 4. Géneros de diatomeas encontrados en canal Ifarfe durante el primer año de estudio.

<i>Estación</i>	<i>Géneros encontrados</i>	<i>Estación</i>	<i>Géneros encontrados</i>
Invierno	<i>Achnanthes</i>	Otoño	<i>Eunotia</i>
	<i>Cocconeis</i>		<i>Fragilaria</i>
	<i>Cyclotella</i>		<i>Gomphonema</i>
	<i>Fragilaria</i>		<i>Navicula</i>
	<i>Amphora</i>		<i>Nitzschia</i>
	<i>Epithemia</i>		<i>Encyonema</i>
	<i>Eunotia</i>		Verano
<i>Rhoicosphenia</i>	<i>Cocconeis</i>		
<i>Planothidium</i>	<i>Cyclotella</i>		
<i>Ctenophora</i>	<i>Cymatopleura</i>		
Primavera	<i>Achnanthes</i>	<i>Epithemia</i>	
	<i>Cyclotella</i>	<i>Fragilaria</i>	
	<i>Cymatopleura</i>	<i>Gomphonema</i>	
	<i>Encyonema</i>	<i>Navicula</i>	
	<i>Eunotia</i>	<i>Pinnularia</i>	
	<i>Fragilaria</i>	<i>Planothidium</i>	
	<i>Gomphonema</i>	<i>Cyclophora</i>	
	<i>Melosira</i>	<i>Melosira</i>	

<i>Navicula</i>	<i>Eunotia</i>
<i>Nitzschia</i>	<i>Achnantheidium</i>
<i>Rhoicosphenia</i>	
<i>Epithemia</i>	
<i>Ctenophora</i>	
<i>Stenopterobia</i>	
<i>Achnantheidium</i>	

Tabla 5. Géneros de diatomeas encontrados en estuario Lengua durante el primer año de estudio.

<i>Estación</i>	<i>Géneros encontrados</i>	<i>Estación</i>	<i>Géneros encontrados</i>		
Invierno	<i>Gyrosigma</i>	Otoño	<i>Denticula</i>		
	<i>Pleurosigma</i>		<i>Navicula</i>		
	<i>Achnanthes (Marino)</i>		<i>Fragilaria</i>		
	<i>Cocconeis</i>		<i>Planothidium</i>		
	<i>Denticula</i>		<i>Diploneis</i>		
	<i>Diploneis</i>		<i>Coscinodiscus</i>		
	<i>Fragilaria</i>		<i>Thalassiosira</i>		
	<i>Navicula</i>		<i>Cyclotella</i>		
	<i>Nitzschia</i>		<i>Discostella</i>		
	<i>Melosira</i>		<i>Gomphonema</i>		
Verano	<i>Grammatophora</i>	Verano	<i>Nitzschia</i>		
	<i>Thalassiosira</i>		<i>Cocconeis</i>		
	<i>Coscinodiscus</i>		<i>Thalassiosira</i>		
	<i>Pantocsekiella</i>		<i>Melosira</i>		
	<i>Pinnularia</i>		<i>Navicula</i>		
	Primavera		<i>Amphora</i>	Primavera	<i>Nitzschia</i>
			<i>Cocconeis</i>		<i>Fragilaria</i>
			<i>Thalassiosira</i>		<i>Achnanthes (Marino)</i>
			<i>Fragilaria</i>		<i>Denticula</i>
			<i>Navicula</i>		<i>Diploneis</i>
<i>Nitzschia</i>		<i>Pleurosigma</i>			
<i>Pleurosigma</i>		<i>Cyclotella</i>			
<i>Gyrosigma</i>		<i>Rhopalodia</i>			
<i>Grammatophora</i>					
<i>Achnanthes</i>					

Tabla 6. Géneros de diatomeas encontrados en el canal Ifarle durante el segundo año de estudio.

<i>Estación</i>	<i>Géneros encontrados</i>	<i>Estación</i>	<i>Géneros encontrados</i>
Invierno	<i>Gomphonema</i>	Otoño	<i>Pinnularia</i>
	<i>Nitzschia</i>		<i>Cyclotella</i>
	<i>Pinnularia</i>		<i>Gomphonema</i>
	<i>Melosira</i>		<i>Nitzschia</i>
	<i>Cymatopleura</i>		<i>Achnanthidium</i>
	<i>Ctenophora</i>		<i>Navicula</i>
Primavera	<i>Rhoicosphenia</i>	Verano	<i>Pinnularia</i>
	<i>Navicula</i>		<i>Achnanthes</i>
	<i>Eunotia</i>		<i>Nitzschia</i>
	<i>Achnanthidium</i>		<i>Navicula</i>
	<i>Cyclotella</i>		<i>Cyclotella</i>
	<i>Pinnularia</i>		<i>Ctenophora</i>
	<i>Gomphonema</i>		<i>Melosira</i>
	<i>Nitzschia</i>		<i>Planothidium</i>
	<i>Navicula</i>		
	<i>Achnanthes</i>		
<i>Melosira</i>			
<i>Cyclotella</i>			
<i>Fragilaria</i>			
<i>Rhoicosphenia</i>			

Tabla 7. Géneros de diatomeas encontrados en el estuario Lengua durante el segundo año de estudio.

<i>Estación</i>	<i>Géneros encontrados</i>	<i>Estación</i>	<i>Géneros encontrados</i>
Invierno	<i>Diploneis</i>	Otoño	<i>Coscinodiscus</i>
	<i>Navicula</i>		<i>Pleurosigma</i>
	<i>Nitzschia</i>		<i>Diatoma</i>
	<i>Denticula</i>		<i>Diploneis</i>
	<i>Amphora</i>		<i>Odontella</i>
	<i>Diatoma</i>		<i>Encyonema</i>
Primavera	<i>Gyrosigma</i>	<i>Gomphonema</i>	
	<i>Gomphonema</i>	<i>Discostella</i>	
	<i>Navicula</i>	<i>Fragilaria</i>	
	<i>Diploneis</i>	<i>Thalassiosira</i>	
	<i>Diatoma</i>	<i>Grammatophora</i>	
	<i>Odontella</i>	<i>Amphora</i>	
	<i>Cocconeis</i>	<i>Cocconeis</i>	
	<i>Cyclotella</i>	<i>Gyrosigma</i>	
	<i>Amphora</i>	<i>Nitzschia</i>	
	<i>Nitzschia</i>	<i>Denticula</i>	
	<i>Encyonema</i>	Verano	<i>Pleurosigma</i>
	<i>Entomoneis</i>		<i>Nitzschia</i>
			<i>Amphora</i>
			<i>Achnanthes</i>
	<i>Staurosirella</i>		
	<i>Thalassiosira</i>		
	<i>Encyonema</i>		
	<i>Gyrosigma</i>		
	<i>Fragilaria</i>		
	<i>Gomphonema</i>		
	<i>Pinnularia</i>		
	<i>Diatoma</i>		

Figura 5. Numero de géneros de diatomeas encontrados en estuario Lengua por estaciones del año durante el primer año de estudio.

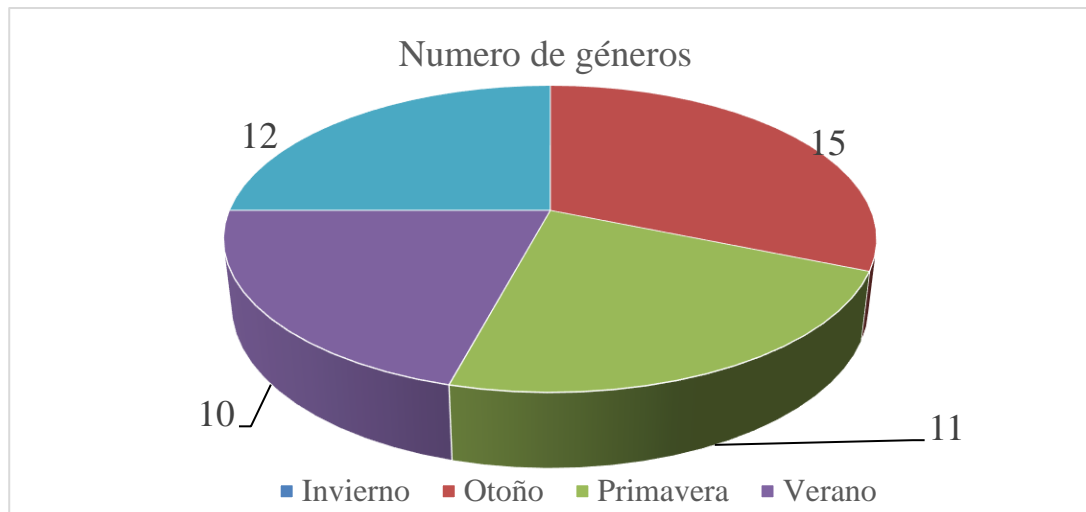


Figura 6. Numero de géneros de diatomeas encontrados en estuario Lengua por estaciones del año durante el segundo año de estudio.

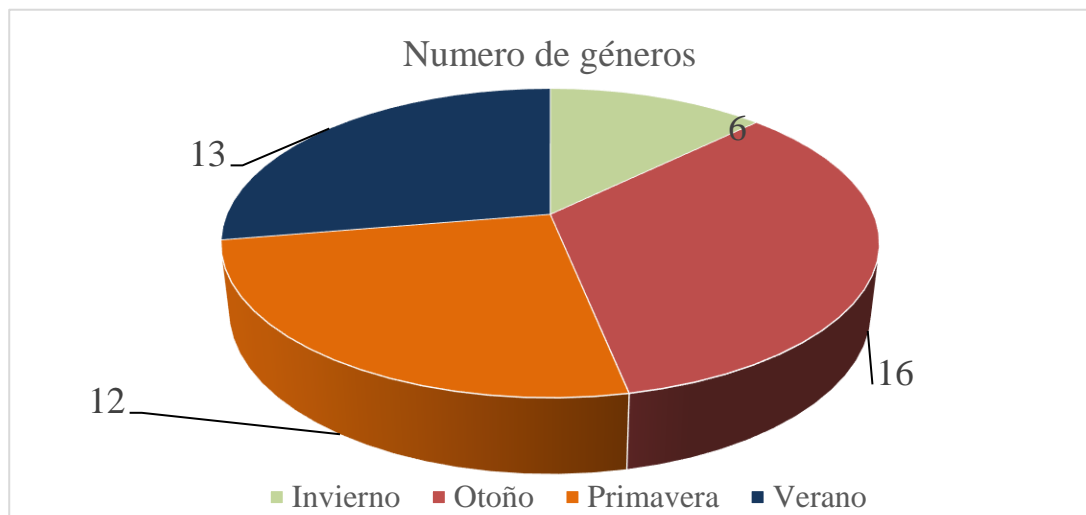


Figura 7. Numero de géneros de diatomeas encontrados en humedal Ifarle por estaciones del año durante el primer año de estudio.

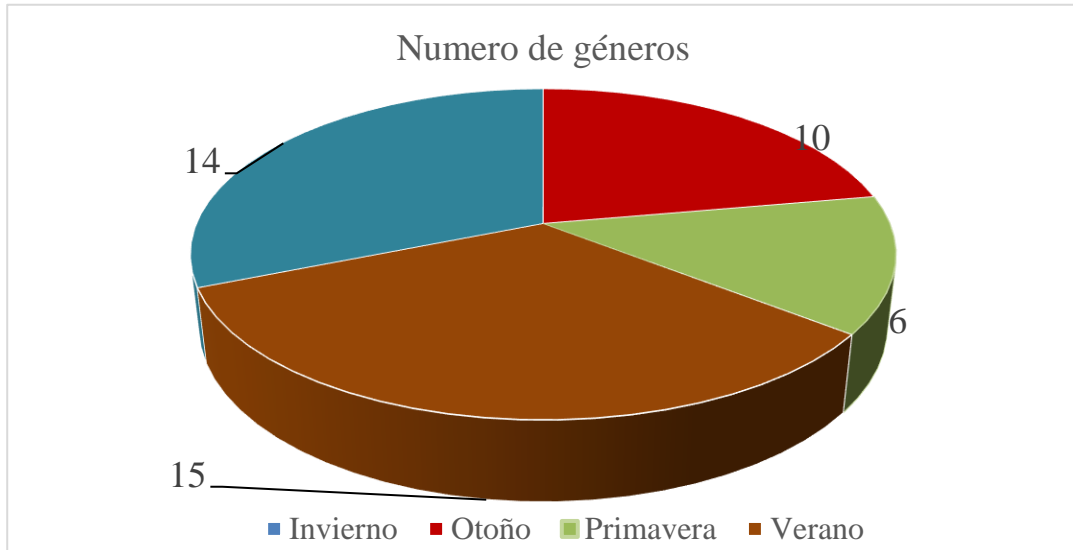


Figura 8. Numero de géneros de diatomeas encontrados en humedal Ifarle por estaciones del año durante el segundo año de estudio.

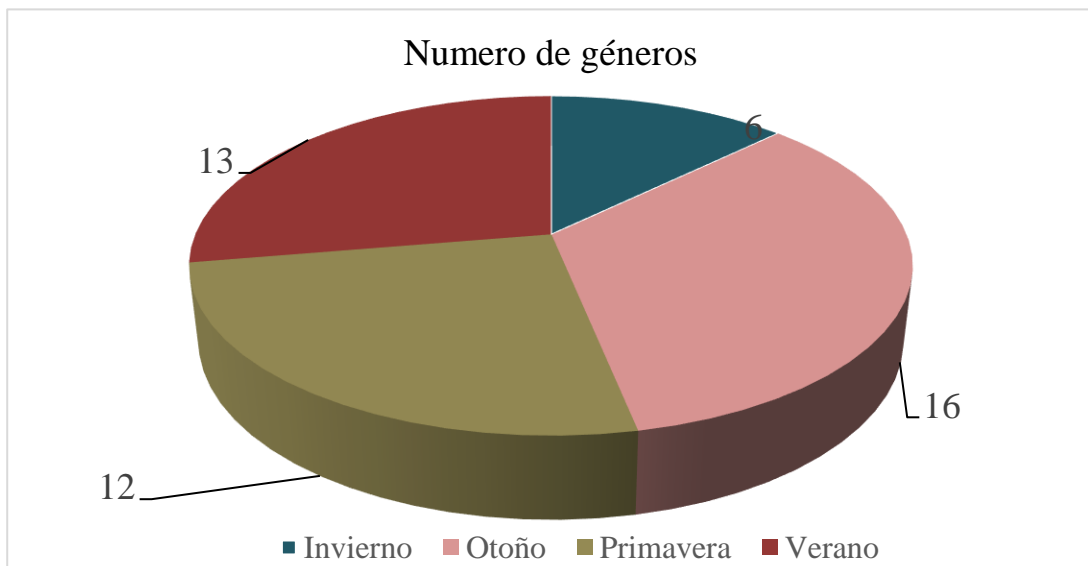


Figura 9. Temperaturas registradas en humedal Ifarle por estaciones durante ambos años de estudio.

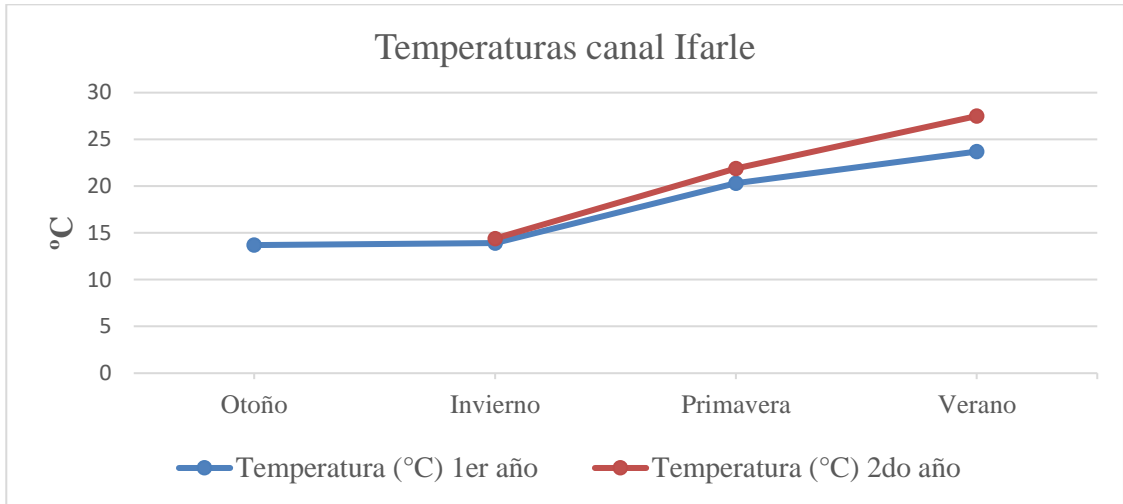


Figura 10. Conductividades registradas en humedal Ifarle por estaciones durante ambos años de estudio.

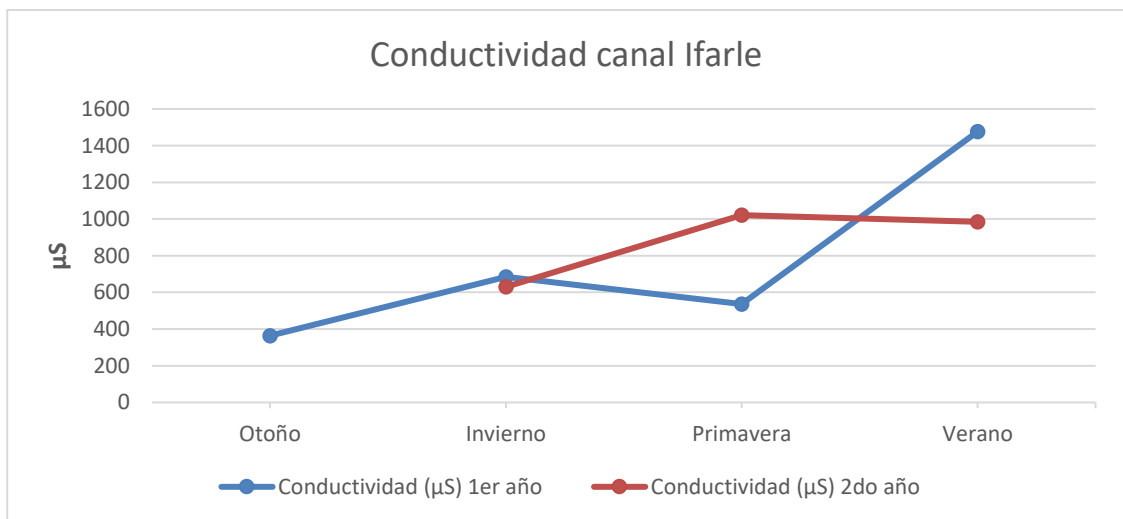


Figura 11. Valores de pH registrados en humedal Ifarle por estaciones durante ambos años de estudio.

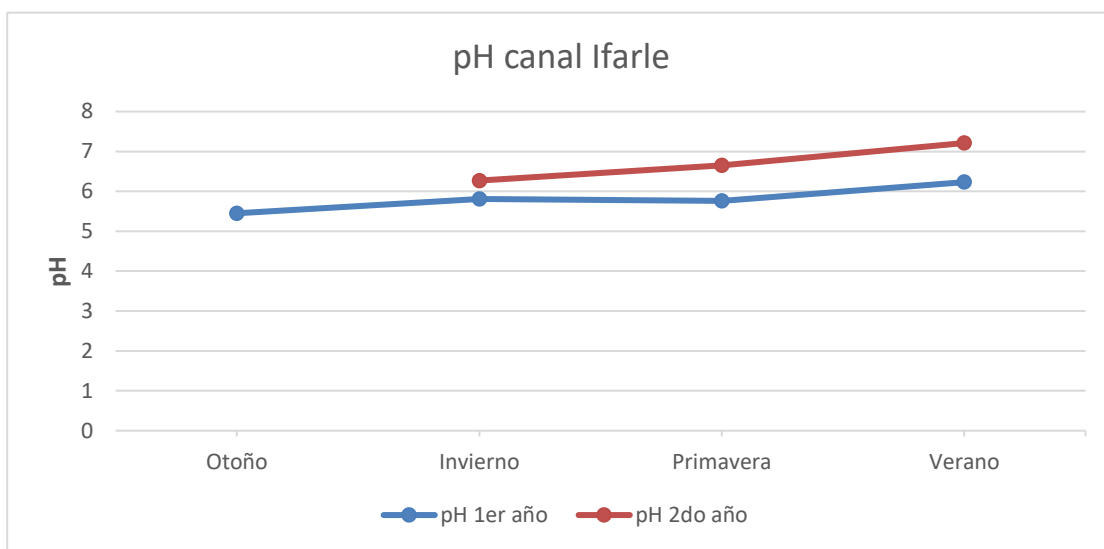


Figura 12. Temperaturas registradas en estuario Lengua por estaciones durante ambos años de estudio.

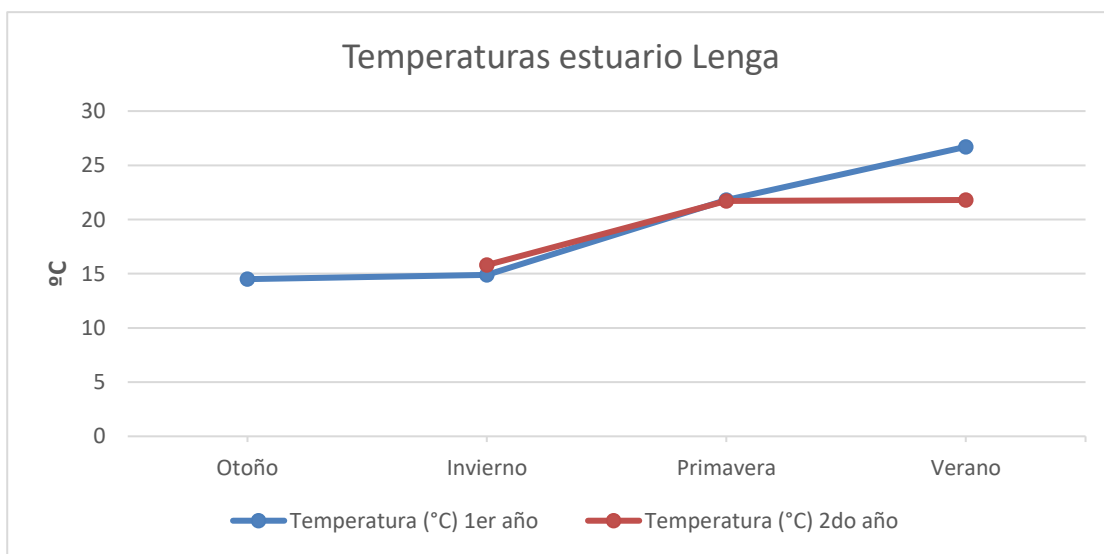


Figura 13. Conductividades registradas en estuario Lengua por estaciones durante ambos años de estudio.

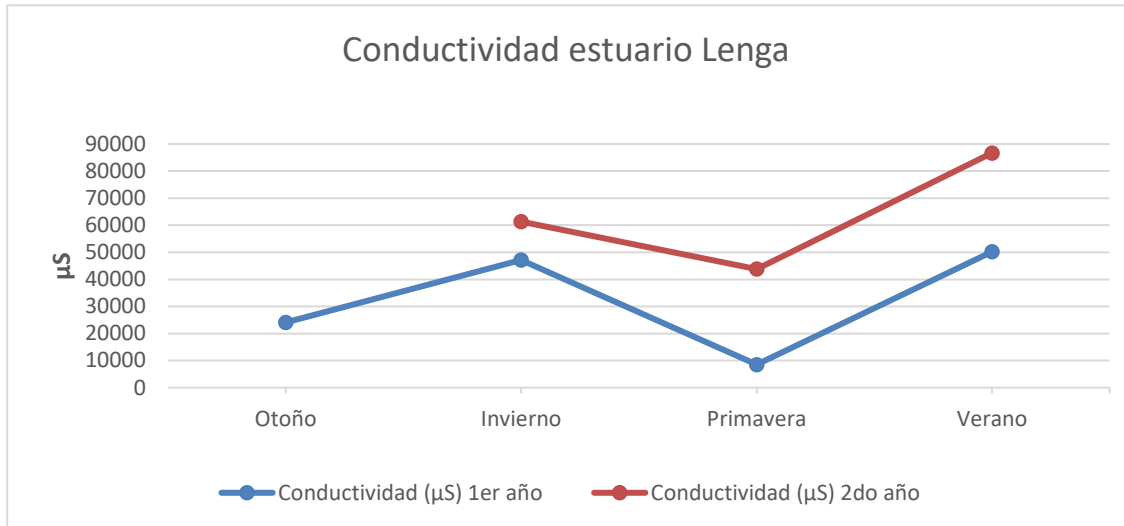
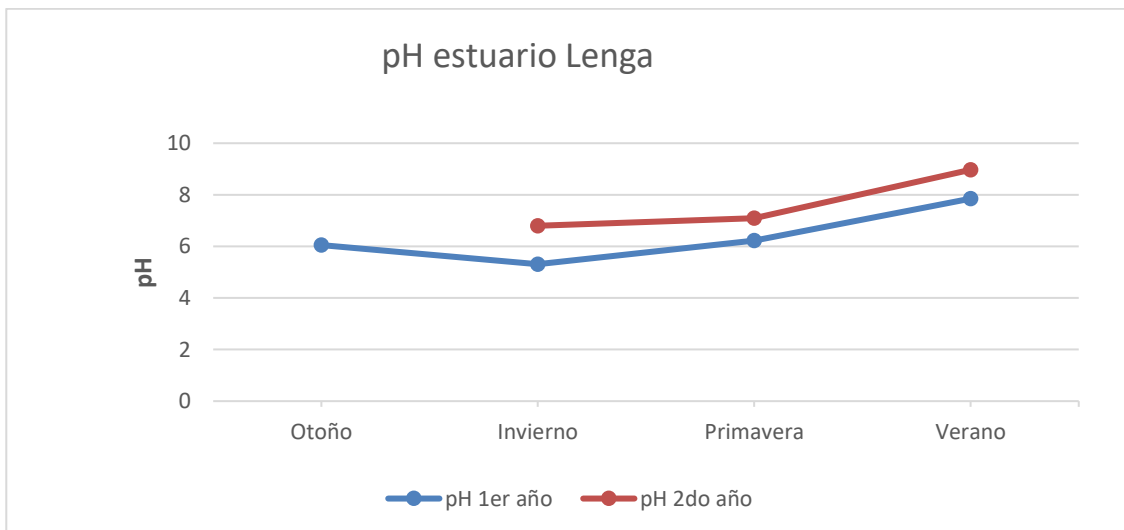


Figura 14. Valores de pH registrados en estuario Lengua por estaciones durante ambos años de estudio.



Los cálculos del índice GDI muestran que la calidad de agua del humedal Ifarle bajo un nivel en la categoría de una calidad mala a una muy mala en su segundo año. En cuanto al humedal Lenga la calidad se mantiene en ambos años dentro de la categoría de moderada, a pesar de la sequía que enfrenta actualmente.

Tabla 8. Valores de índice GDI de calidad de agua humedal Ifarle.

SITIO	Humedal Ifarle
GDI 1er año	9,66
GDI 2do año	7,84

Tabla 9. Valores de índice GDI de calidad de agua humedal Lenga.

SITIO	Humedal Lenga
GDI 1er año	12,80
GDI 2do año	14,07

Los valores de diversidad de géneros de diatomeas calculado mediante el índice de Shannon-Weaver (H') muestra una leve fluctuación en los valores entre humedales y años estudiados, con el índice más alto presentado en el humedal Lenga durante su primer año de estudio, pero mostró una disminución en el segundo año, al contrario del humedal Ifarle el cual presentó un aumento a su siguiente año.

Figura 15. Grafica de valores de diversidad de Shannon-Weaver en los humedales estudiados

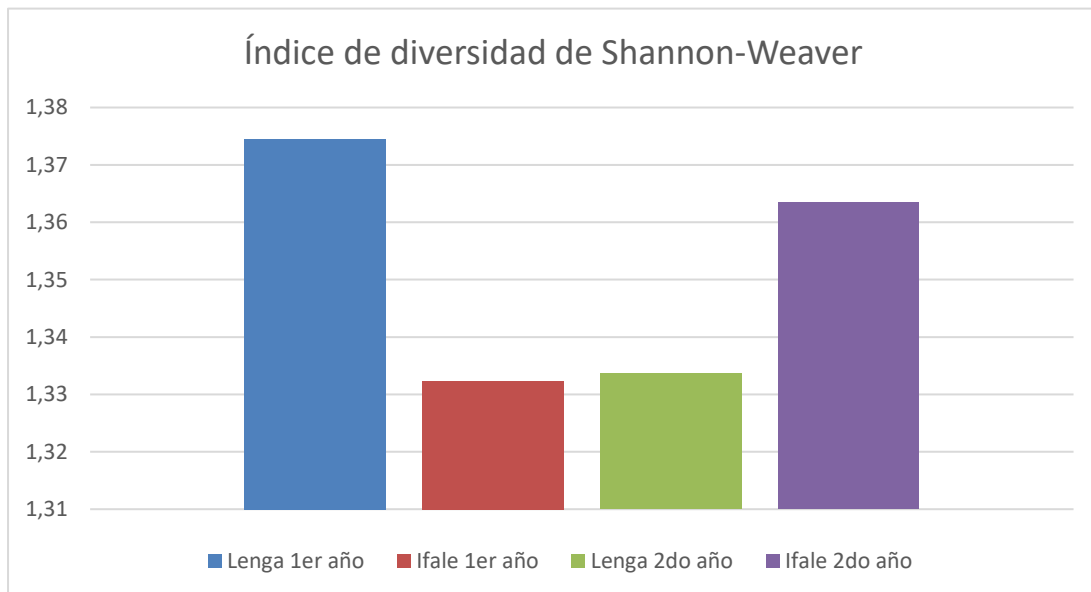
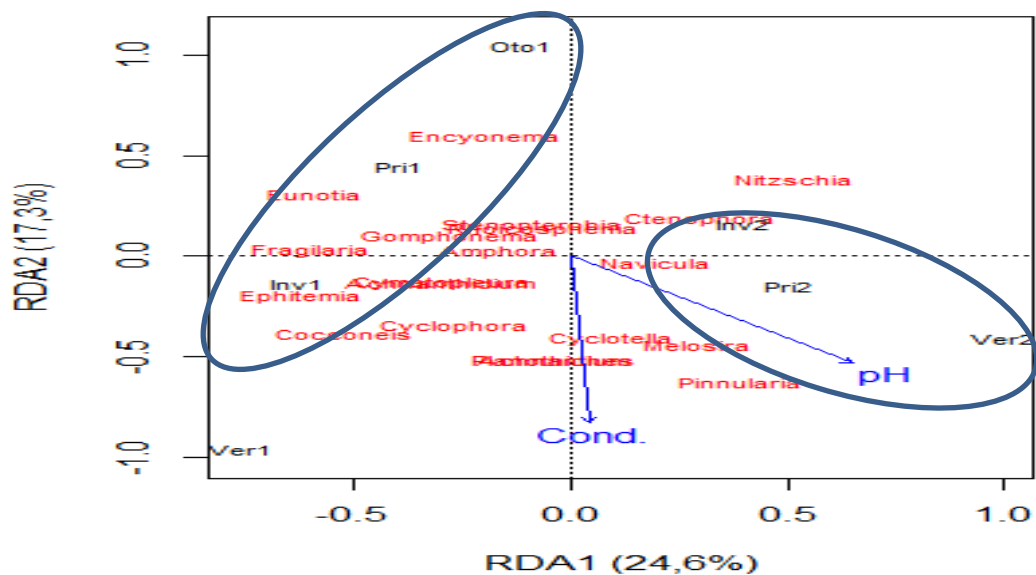


Tabla 10. Valores de diversidad de Shannon-Weaver en los humedales estudiados

Lugar	Índice
Lenga 1er año	1.37
Ifarle 1er año	1.33
Lenga 2do año	1.33
Ifarle 2do año	1.36

La ordenación a partir del RDA (valor-p: 0.039) aplicada a los datos del humedal Ifarle explica el 41,9% de la varianza de los datos de las comunidades al considerar la conductividad (24,6%) y pH (17,3%), el factor temperatura fue eliminado al no explicar significativamente los datos. Además, en el gráfico se muestra una diferenciación entre ambos periodos evidenciando diferencias interanuales en este humedal. En cuanto al humedal Lenga, no se pudo presentar gráfico RDA debido a que ninguna variable ambiental en particular o conjunto de alguna de ellas estudiada presento significancia en cuanto a la presencia de los géneros encontrados durante los periodos estudiados, es decir, que no se encontraron diferencias interanuales entre las comunidades y los factores fisicoquímicos del ecosistema.

Figura 16. Análisis de redundancia (RDA) entre los géneros de comunidades de diatomeas y variables fisicoquímicas en el humedal Ifarle.



DISCUSIÓN

Los sistemas acuáticos son ecosistemas naturales que presentan una gran diversidad de organismos, cuyas comunidades se han adaptado o varían de acuerdo con las condiciones ambientales que hay en cada uno de ellos.

La estructura de las comunidades de diatomeas responde a los niveles de contaminantes, con variaciones en la riqueza y la diversidad de especies, las que suelen ser inferiores en sitios contaminados. (Bere & Tundisi 2011), considerados los datos entregados de ambos ecosistemas, estos durante el segundo año de análisis presentaron una disminución en la variedad de géneros encontrados. Ciertamente, por el desconocimiento sobre los mismos aquí evaluados es difícil decir que presentan contaminantes o se dio algún cambio drástico en los mismos. Solo destacar que el estuario Lengua presenta una sequía bastante severa en el año actual, en parte atribuible al daño inmobiliario y humano (Gonzales, 2021). Aun a pesar de esto los humedales son ecosistemas considerados altamente variables en sus características ambientales a lo largo del año,

especialmente en lo que se refiere a su flujo de agua, permaneciendo incluso algunos de ellos sin agua durante algunos períodos de tiempo.

En términos de los parámetros fisicoquímicos ambientales medidos en los diferentes humedales estudiados en el presente trabajo (temperatura, pH, conductividad), las mayores diferencias se presentan en la conductividad, la que es mayor en el estuario Lenga, debido a la influencia marina que presenta este ecosistema. Comparando ambos años, las variaciones de estos parámetros fueron más notoria en el segundo año en el caso de la conductividad y pH en el estuario Lenga. Los cambios en salinidad pueden indicar una baja en la salud ecológica de este humedal, debido a que al aumentar la salinidad se afecta el sustrato del humedal además de las esporas, semillas, raíces de las plantas, larvas y juveniles de insectos que habitan estos ecosistemas llegando a provocar cambios en la cadena trófica en el largo plazo de este mismo (Skinner et al. 2001).

Respecto a las comunidades de diatomeas, las muestras analizadas en este estudio registraron diferencias en los géneros encontrados en cada uno de los humedales, No obstante, se observó cierta homogeneidad en

la presencia/ausencia de los diferentes géneros en las estaciones anuales consideradas, con bajo cambio o desaparición completa de géneros en el recambio de los mismos durante los años, a pesar de que en el segundo año si se registró una leve desaparición de algunos durante estaciones previamente encontrados. En el canal Ifarle entre los géneros presentes se encuentran géneros como *Amphora*, y *Cocconeis*, correspondientes a géneros eutróficos, evidenciando una mayor cantidad de nutrientes en este ambiente acuático, además de la presencia del género *Eunotia* el cual es acidobiótico, lo que es concordante con los valores de pH obtenidos en otoño, invierno y primavera durante el primer año, pero no encontrado en el segundo año de estudio, año en el cual se detectó un aumento en el pH de este humedal. También se encontró el género *Cymatopleura* durante el primer año, el cual de acuerdo a Round et al. 2007, se encuentra en aguas con alta conductividad como se puede ver en los valores de conductividad medidos en invierno y primavera, reflejando las características iónicas en el humedal por la sedimentación del mismo.

El estuario Lengua se ve un cambio en la composición de géneros, pasando a géneros más característicos y comunes de ambientes marinos

o salobres como *Eunotogramma*, *Diploneis*, *Gyrosigma*, *Pleurosigma* o *Coscinodiscus* (Round et al. 2007). Pero, además, de géneros eutróficos como *Cocconeis*, *Gyrosigma* y *Thalassiosira*, reflejando una buena alta cantidad de nutrientes, al igual que el canal Ifarle. La presencia de géneros como *Coscinodiscus* evidencia las características fisicoquímicas de un ambiente marino (estuario), algo completamente diferente como en los otros casos estudiados, ya que este género es usualmente marino y de aguas con alta conductividad, características de este tipo de ecosistema acuático.

Cabe señalar que, si bien los géneros *Nitzschia* y *Navicula* están presente en ambos humedales, aunque no son los géneros característicos o dominantes en estos. Según al estudio de Hill et al. 2001, el cual establece que tanto géneros como especies de diatomeas presentes en los ecosistemas acuáticos reflejan o se correlacionan con la intervención humana o el gradiente geomorfológico del área, se denota la diferencia en la composición de ambos esperada por las condiciones de ambos ecosistemas y las diferentes condiciones a la que se ven enfrentados en la actualidad.

Considerando el índice GDI utilizado, este al trabajar con géneros, limita la incorporación de características particulares de algunas especies de diatomeas, limitando el detectar cambios más precisos en los cuerpos de agua, como se podría una reducción del valor esperar en el segundo año del humedal Lenga ya que como fue mencionado este presenta un fuerte cambio atribuible a factores antrópicos actualmente, sin embargo, este índice aun permite ofrecer un acercamiento a como estos se comportan estos cuerpos de agua en el transcurso del tiempo.

En cuanto al RDA realizado muestra que los las comunidades en el humedal Ifarle están influenciadas por la conductividad y el pH que presenta este ecosistema. Por otra parte, el humedal Lenga no fue posible de analizar debido a se obtiene un valor-p mayor a 0,05, dando a entender que el análisis no tiene la solvencia estadística para confirmar la relación entre las variables biológicas y fisicoquímicas encontradas.

CONCLUSIONES

Con la metodología propuesta para este estudio se da cumplimiento a los objetivos esperados, dando a la clara diferenciación entre ambos ecosistemas considerados entre sí y entre los distintos periodos estacionales de los años, mediante la evaluación de las comunidades y parámetros fisicoquímicos que presentan.

Se encontró evidencia que soporta la hipótesis planteada en esta tesis, registrando diferencias en las composiciones en las comunidades encontradas junto a cambios en los mismos a través del tiempo de estudio.

El análisis multivariado muestra una particularidad en el comportamiento de las comunidades y su dependencia a ciertos factores fisicoquímicos en un ecosistema estudiado (humedal Ifarle) marcando diferencias interanuales siendo el factor ambiental pH el que aporta el mayor porcentaje de diferencia entre ambos grupos.

Este estudio al tener un carácter de formar una base en cuanto al conocimiento de estos ecosistemas poco estudiados en esta zona de Chile, es difícil asegurar que las condiciones encontradas permanezcan o no cambien en el curso del tiempo o que tanto podrían llegar a cambiar sin más estudios dentro de esta misma base de conocimiento, sin embargo ofrece un acercamiento a que las condiciones de estos ambientes están cambiando y responden frente a las condiciones como el daño antrópico y a los cambios medio ambientales por el calentamiento global.

BIBLIOGRAFÍA.

- Bere, T. & J.G. Tundisi. 2011. Applicability of borrowed diatom-based water quality assessment indices in streams around Sao Carlos-SP, Brazil. *Hydrobiologia*, 673: 179-192.
- Blendinguer, P., 2001. Estudio de Base Cero, Bañado de Carilauquen. Informe Final Aves. Fundación Cricyt, 47 pp.
- Camaño, A. 2012. Humedales Costeros: Aportes científicos a su gestión sustentable. Ediciones UC.
- Cambra, J., Ector, L., & Sabater, S. 2005. Protocolos de muestreo y análisis para Fitobentos (Microalgas bentónicas). Confederación Hidrográfica del Ebro. Comisaría de Aguas.
- Cevallos Ceballos, M. 2018. Los Humedales. Características. Origen. Humedales Peruanos protegidos.
- Cloern, J. E., Foster, S. Q., & Kleckner, A. E. 2014. Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems. *Biogeosciences*, 11(9), 2477-2501.
- Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. Ramsar (Irán), 2 de febrero de 1971. Compilación de Tratados de las Naciones Unidas N° 14583. Modificada según el Protocolo de París, 3 de diciembre de 1982, y las Enmiendas de Regina, 28 de mayo de 1987.
- Datta, A., Marella, T. K., Tiwari, A., & Wani, S. P. 2019. The Diatoms: From Eutrophic Indicators to Mitigators. In *Application of Microalgae in Wastewater Treatment* (pp. 19-40). Springer, Cham.
- Dixit, S. S., Smol, J. P., Kingston, J. C., & Charles, D. F. 1992. Diatoms: powerful indicators of environmental

- change. *Environmental science & technology*, 26(1), 22-33.
- Dugan, P. J. (Ed.). (1992). *Conservación de humedales: Un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias*. IUCN.
 - Gonzales, A. G. (2021). Experto UdeC explica causas de la sequía del humedal de Lengua, Chile: Sabes. <https://sabes.cl/2021/02/28/experto-udec-explica-causas-de-la-sequia-del-humedal-de-lengua/>
 - Hasle, G. R., & Fryxell, G. A. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Transactions of the American Microscopical Society*, 469-474.
 - Hering, D., Johnson, R. K., Kramm, S., Schmutz, S., Szoszkiewicz, K., & Verdonschot, P. F. 2006. Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. *Freshwater Biology*, 51(9), 1757-1785.
 - Hofmann, G., Werum, M., & Lange-Bertalot, H. (2011). *Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa: Bestimmungsflora Kieselalgen für die ökologische Praxis; über 700 der häufigsten Arten und ihrer Ökologie*. Gantner.
 - Hynes, H. B. N., & Hynes, H. B. N. 1970. *The ecology of running waters* (Vol. 555). Liverpool: Liverpool University Press.
 - Jari Oksanen, F. Guillaume Blanchet, Michael Friendly, Roeland Kindt, Pierre Legendre, Dan McGlinn, Peter R. Minchin, R. B. O'Hara, Gavin L. Simpson, Peter Solymos, M. Henry H. Stevens, Eduard Szoecs and Helene Wagner (2020). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-7. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
 - Koch, P., & Rivera, P. 1984. Contribución al conocimiento de las diatomeas chilenas III el género *Chaetoceros* (Subgenero *Phaeoceros* Gran.) *Gayana Botanica*, 41(1-2), 61-84.
 - Krammer, K. 1991. *Bacillariophyceae 1-4. Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 2, 876-596.

- Krammer, K. 2000. Bacillariophyceae. Part 5: English and French translation of the keys. English translation by Nina Bate (keys) & Andrew Podzorski (general part), French translation by Jeanne Bukowska, Monika Michel & Jean Prygiel (keys). SuBwasserflora von Mitteleuropa.
- Krammer K. & H. Lange-Bertalot. 1997. Bacillariophyceae. 2/3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer. Stuttgart, 598 pp.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1991–2000. Bacillariophyceae. In Ettl, H., J. Gerloff, H. Heyning & D. Mollenhauser (eds) Sübwasserflora von Mitteleuropa, Vol. 2. Fischer, Stuttgart: 1–4.
- King, L., Barker, P., & Jones, R. I. 2000. Epilithic algal communities and their relationship to environmental variables in lakes of the English Lake District. *Freshwater Biology*, 45(4), 425-442.
- Kusler, J., Mitsch, W., & Larson, J. S. 1994. Humedales. *Investigación y ciencia*, 210, 6-13.
- Lavoie, I., & Hamilton, P. B. (2008). Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada. PUQ.
- Leps, J & P. Smilauer. 2003. *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*. Cambridge University Press. Cambridge. 269 pp.
- McCormick, P. V., & Cairns, J. 1994. Algae as indicators of environmental change. *Journal of applied phycology*, 6(5-6), 509-526.
- Meteorológica de Chile, (2016) Climatología.
- Ministerio de Medio Ambiente .2017. Chile tiene 18 mil humedales y solo el 2% de ellos cuenta con algún tipo de protección. <https://mma.gob.cl/chile-tiene-18-mil-humedales-y->

solo-el-2-de-ellos-cuenta-con-algun-tipo-de-proteccion/

- Moeller Doepking, P., & Muñoz Pedreros, A. 1998. Humedales y educación ambiental: guía práctica para padres, profesores y monitores. Humedales y Educación Ambiental.
- Municipalidad de Hualpén Departamento Medio Ambiente, Guía de campo. Humedales urbanos de Hualpén, 1-14.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., & Melo, S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of plankton research*, 24(5), 417-428.
- Rott, E., Pipp, E., & Pfister, P. 2003. Diatom methods developed for river quality assessment in Austria and a cross-check against numerical trophic indication methods used in Europe. *Algological Studies*, 110(1), 91-115.
- Rumeau, A. and Coste, M. 1988. Initiation la systématique des diatomées d'eau douce. pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 309: 1-69.
- Rumrich, U. 2000. Diatoms of the Andes from Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego. *Iconographia Diatomologica.*, 9, 1-673.
- Stevenson, R. J., Pan, Y., & Van Dam, H. 1999. Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences*, 1(4).
- Shannon, C. & W. Weaver. 1963 *The mathematical theory of communications*. University of Illinois Press, Urbana, 117 pp.
- Skinner, R., Sheldon, F., & Walker, K. F. (2001). Propagules in dry wetland sediments as indicators of ecological health: effects of salinity. *Regulated Rivers: Research & Management: An*

International Journal Devoted to River Research and Management, 17(2), 191-197.

- Tume, P., González, E., Reyes, F., Fuentes, J. P., Roca, N., Bech, J., & Medina, G. 2019. Sources analysis and health risk assessment of trace elements in urban soils of Hualpén, Chile. *Catena*, 175, 304-316.
- Vicente E., Hoyos C., Sánchez, P., & Cambra, J. 2005. Metodología para el establecimiento el estado ecológico según la directiva marco del agua. Protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton, Ministerio del Ambiente, España.
- Weaver, W., & Shannon, C. E. 1963. The mathematical theory of communication. 1949. Urbana, Illinois: University of Illinois Press.
- Zohary, T., Padisák, J., & Naselli-Flores, L. 2010. Phytoplankton in the physical environment: beyond nutrients, at the end, there is some light. *Hydrobiologia*, 639(1), 261-269.
- Zelinka, M. & Marvan, P. 1961. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. - *Arch. Hydrobiol.*, 57: 389-407.

