



UCSC

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS**

COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA Y ELEMENTAL DE LOS SEDIMENTOS
SUPERFICIALES MARINOS DE LA ZONA COSTERA DE LA REGIÓN
DEL MAULE (35°S)

Por

TAMARA JACQUELINE MORALES GONZÁLEZ

MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO MARINO

Profesor guía: ALEXIS ANTONIO CASTILLO BRUNA

Profesora co-guía: PAULINA ALEJANDRA MEDINA CASTILLO

Concepción, Chile

2026

CONSTANCIA

Esta Memoria de Título corresponde a una Habilitación Profesional ejecutada bajo la modalidad *vía académica*, con dedicación exclusiva durante un semestre académico, y enfocada íntegramente en la realización del trabajo de investigación aquí expuesto. El trabajo se desarrolló en la Universidad Católica del Maule, bajo la guía de Alexis Castillo Bruna, y en la UCSC, bajo la guía de Paulina Medina Castillo.

A mi familia, por sostener incluso en silencio.

AGRADECIMIENTOS

Esta Memoria se enmarca en un trabajo colaborativo con el Dr. Alexis Castillo Bruna (CIEAM) y Mg. Paulina Medina Castillo (UCSC). Fue financiado gracias al Proyecto FONDECYT de Iniciación N° 11230555 (2023-2026) de la Universidad Católica del Maule, Talca.

Agradezco también a la Universidad Católica del Maule por permitirme formar parte de este proyecto, así como también, a mi Universidad Católica de la Santísima Concepción por darme la oportunidad de realizar este trabajo en conjunto.

Agradezco infinitamente a mis tutores Dr. Alexis Castillo Bruna del Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Maule (CIEAM) y Mg. Paulina Medina Castillo (Coordinadora Académica de Formación Continua y Servicio de la UCSC) por el gran apoyo y muchísima paciencia que me tuvieron durante todo este trabajo.

Agradezco la paciencia infinita de mi familia todos estos años, apoyándome en lo que parecía una carrera de no terminar, pero con su apoyo incondicional y amor infinito lo logre. Gracias. Gracias. Gracias. Los amo.

Agradezco por último a mi pareja Felipe Ortiz Ibáñez por el apoyo, respaldó y paciencia brindados estos últimos meses.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| Resumen | vii |
| Abstract..... | viii |
| Introducción..... | 1 |
| Sedimentos marinos..... | 1 |
| Materia orgánica | 2 |
| Cuenca hidrográfica: Región del Maule | 3 |
| Región del Maule: potenciales efectos de la actividad agronómica, forestal e industrial . | 3 |
| Hipótesis..... | 5 |
| Hipótesis General..... | 5 |
| Hipótesis Específicas | 5 |
| Objetivos..... | 6 |
| Objetivo General..... | 6 |
| Objetivos Específicos | 6 |
| Métodos | 7 |
| Recolección de sedimentos..... | 7 |
| Estimación de la composición bioquímica y elemental (C.N.S y TOC) | 8 |
| Análisis estadísticos..... | 9 |
| Resultados..... | 10 |
| Composición elemental de los sedimentos | 10 |
| Composición bioquímica y condición trófica | 14 |
| Análisis estadístico univariado y multivariado (GLM y PCA)..... | 18 |
| Modelo Lineal General (GLM)..... | 18 |
| Análisis de componentes principales (PCA), clúster y correlación..... | 19 |
| Caracterización hidrográfica y fluvial | 23 |
| Caudales del río Mataquito y río Maule | 23 |
| Precipitaciones en las cuencas | 24 |
| Discusión | 27 |
| Control estacional sobre la composición sedimentaria..... | 27 |

| | |
|--|----|
| Gradiente espacial asociado a la pluma fluvial..... | 28 |
| Calidad de la materia orgánica y procesos de degradación | 28 |
| Comportamiento del nitrógeno y del azufre en el sedimento | 29 |
| Integración regional y relevancia ambiental | 29 |
| Conclusiones..... | 31 |
| Referencias bibliográficas | 33 |
| Anexo 1: Comparacion de composicion bioquimica y elemental | 36 |
| Anexo 2: Tabla de salinidad de las estaciones de la zona de muestreo | 37 |

RESUMEN

En este estudio se analizó y caracterizó la distribución espacio-temporal de la composición bioquímica y elemental de los sedimentos superficiales marinos de cinco estaciones de muestreo (Iloca, Mataquito, Huenchullami, Constitución y Maguillines) de las desembocaduras de los ríos Maule y Mataquito, Región del Maule. En la composición elemental se presentó un mayor contenido de Azufre (S) en Constitución en el periodo de primavera. En cuanto al Carbono fue mayor en Mataquito en el periodo de primavera. Carbohidratos (CHO) y Lípidos (LPD), ambos fueron significativamente mayores en Constitución en el periodo de primavera. Para la composición bioquímica la razón PRT:CHO el valor más alto se registró en Huenchullami durante primavera. Los caudales y precipitaciones de los ríos Mataquito y Maule muestran un aumento en invierno (junio-agosto) en los años 2023-2024. La composición bioquímica y elemental de los sedimentos marinos en la Región del Maule, mostró una marcada variabilidad espacio-temporal, cuyo análisis y estudio incrementa la comprensión sobre la dinámica sedimentaria en la zona de estudio influenciados por la descarga de ríos, especialmente en materia de gestión ambiental y la creciente presión antropogénica y climática que afecta a los ecosistemas costeros.

Palabras clave: Chile central, Sedimentos superficiales, zona costera, Variabilidad espacio-temporal, Zona costera.

ABSTRACT

In this study, the spatio-temporal distribution of the biochemical and elemental composition of marine surface sediments was analyzed and characterized at five sampling stations (Iloca, Mataquito, Huenchullami, Constitución, and Maguillines) located near the mouths of the Maule and Mataquito rivers, in the Maule Region, central Chile. Regarding elemental composition, higher sulfur (S) contents were observed at the Constitución station during the spring period, while carbon concentrations were higher at Mataquito during the same season. In terms of biochemical composition, both carbohydrates (CHO) and lipids (LPD) showed significantly higher values at Constitución during spring. Additionally, the protein-to-carbohydrate ratio (PRT:CHO), used as an indicator of organic matter quality, reached its highest value at Huenchullami during spring. Hydrological records indicated that river discharge and precipitation of the Mataquito and Maule rivers increased during winter (June–August) in the years 2023–2024, suggesting a stronger continental influence on the coastal zone during this period. Overall, the biochemical and elemental composition of marine sediments in the Maule Region exhibited marked spatio-temporal variability, influenced by both seasonal dynamics and riverine inputs. The analysis of these patterns contributes to a better understanding of sedimentary dynamics in river-influenced coastal systems and provides relevant information for environmental management under scenarios of increasing anthropogenic pressure and climate variability affecting coastal ecosystems.

Keywords: Central Chile, Coastal zone, Marine surface sediments, River discharge, Spatio-temporal variability.

INTRODUCCIÓN

Los ambientes costeros constituyen sistemas altamente dinámicos y productivos, donde convergen procesos físicos, químicos y biológicos que regulan el flujo de materia y energía entre los ecosistemas continentales y marinos (Alongi et al., 1998; Levin et al., 2001). En estos sistemas, los sedimentos marinos superficiales cumplen un rol fundamental como integradores ambientales, ya que registran de forma acumulativa los procesos que ocurren tanto en la columna de agua como en las cuencas hidrográficas adyacentes (Thrush et al., 2021).

La zona costera de la Región del Maule representa un escenario particularmente relevante para el estudio de estos procesos, debido a la interacción entre la alta productividad marina asociada al Sistema de la Corriente de Humboldt y los aportes fluviales provenientes de cuencas con intensa actividad antrópica. En este contexto, el análisis de la composición bioquímica y elemental de los sedimentos permite evaluar la dinámica de la materia orgánica y su respuesta frente a la variabilidad ambiental (Pineda, 2009).

Sedimentos marinos

Los sedimentos marinos actúan como sumideros de materia orgánica, nutrientes y otros compuestos, además de constituir el hábitat de comunidades bentónicas que participan activamente en los ciclos biogeoquímicos (Danovaro et al., 2008). Por su carácter acumulativo, los sedimentos integran señales ambientales que reflejan tanto procesos de origen natural como impactos asociados a actividades humanas, permitiendo evaluar el estado ambiental de los sistemas costeros en diferentes escalas temporales (Rodríguez Meza, 2005). La composición sedimentaria está determinada por la interacción entre la producción biológica marina, el aporte de material continental, la hidrodinámica local y los procesos de degradación y preservación que ocurren en el fondo marino (Schulte et al., 2024). Factores como la composición granulométrica, la tasa de sedimentación y las condiciones redox influyen directamente en la acumulación y transformación de la materia orgánica, condicionando su disponibilidad para los organismos bentónicos y su rol en los ciclos del carbono, nitrógeno y azufre (Burdige, 2007).

Diversos estudios han demostrado que los sedimentos marinos superficiales permiten identificar cambios en la calidad y el origen de la materia orgánica, así como episodios de

enriquecimiento orgánico asociados a eventos de alta productividad biológica o a incrementos en el aporte fluvial. En este contexto, el análisis de variables elementales y bioquímicas se ha consolidado como una herramienta robusta para evaluar procesos biogeoquímicos y para el monitoreo ambiental de zonas costeras sometidas a múltiples presiones (Dell'Anno et al., 2002; Pusceddu et al., 2009).

Materia orgánica

La materia orgánica sedimentaria corresponde a una mezcla compleja de compuestos de origen autóctono y alóctono, con distintos grados de degradación y reactividad (Bernal & Betancur, 1996). El material autóctono proviene principalmente de la producción primaria marina, mientras que el material alóctono es transportado desde las aguas continentales a través de los ríos y escorrentías superficiales (Rodríguez Meza, 2005). La proporción relativa de esos aportes determina en gran medida la calidad nutricional y el comportamiento biogeoquímico de los sedimentos (Silva & Astorga, 2010).

Una fracción significativa de la materia orgánica producida en la zona fótica es exportada hacia el fondo marino mediante procesos de sedimentación, estableciendo un estrecho acoplamiento entre los sistemas pelágicos y bentónicos (Silva & Astorga, 2010). Este proceso de exportación está controlado por la intensidad de la producción biológica, la composición de la comunidad fitoplanctónica, la formación de agregados orgánicos y pellets fecales, además de las condiciones hidrodinámicas de la zona costera (Sabater, 2016). En sistemas de surgencia costera, como aquellos asociados al Sistema de la Corriente de Humboldt, el enriquecimiento en nutrientes favorece elevados niveles de productividad fitoplanctónica, incrementando el flujo de materia orgánica particulada hacia los sedimentos (Gutiérrez et al., 2010). Durante estos periodos, una mayor proporción de materia orgánica fresca puede alcanzar el fondo marino, conservando parte de su calidad bioquímica original (Wetzel, 2001). Por otro lado, la materia orgánica puede clasificarse en fracciones lábiles y refractarias. Las fracciones lábiles, representadas principalmente por proteínas y lípidos, se asocian a material orgánico fresco de alto valor nutricional, generalmente de origen planctónico, mientras que las fracciones más refractarias, como ciertos carbohidratos estructurales, predominan en material más degradado o de origen continental (Fabiano et al., 1995). La relación entre estas fracciones ha sido

ampliamente utilizada como un indicador del estado trófico y del grado de degradación de la materia orgánica sedimentaria (Graf & Meyer-Reil, 1985).

La acumulación y preservación de la materia orgánica en los sedimentos depende además de las condiciones redox del fondo marino. Ambientes con baja disponibilidad de oxígeno favorecen la reducción de la tasa de degradación microbiana, permitiendo una mayor conservación y preservación de compuestos orgánicos lábiles, mientras que condiciones más oxigenadas promueven una remineralización más eficiente (Fry, 1987).

Cuenca hidrográfica: Región del Maule

La cuenca hidrográfica de la Región del Maule comprende sistemas fluviales de gran extensión, como los ríos Maule y Mataquito, los cuales drenan territorios con una marcada actividad agrícola, forestal e industrial (Plischoff, 2020). Estas cuencas presentan un régimen hidrológico estacional, con mayores caudales durante el invierno asociados al aumento de las precipitaciones, lo que favorece el transporte de sedimentos finos, nutrientes y materia orgánica hacia la zona costera (Silva & Astorga, 2010).

El aporte fluvial constituye un factor clave en la regulación de la composición sedimentaria costera, ya que puede enriquecer los sedimentos en material terrígeno y orgánico de origen continental, con alto potencial de modular la señal biogénica asociada a la productividad marina. La magnitud de este aporte varía espacial y temporalmente en función del caudal, la geomorfología de la cuenca y el uso del suelo (Pávez Moreno, 2016).

Región del Maule: potenciales efectos de la actividad agronómica, forestal e industrial

La Región del Maule ha experimentado un sostenido incremento de las actividades antrópicas, particularmente de los sectores agrícolas, forestales y urbanos, lo que ha generado una mayor presión sobre los sistemas fluviales y costeros (Bustamante & Campos, 2004). Estas actividades influyen directamente en la calidad y cantidad de los aportes de sedimentos, nutrientes y materia orgánica hacia el océano, modificando los flujos naturales y la dinámica biogeoquímica de la zona costera (Silva & Astorga, 2010; Pantoja et al., 2011).

En las áreas adyacentes a las desembocaduras de los ríos Maule y Mataquito se desarrolla una pluma fluvial costera, cuya extensión y orientación puede variar en función del caudal, las

condiciones hidrodinámicas y el forzante estacional. Esta pluma genera un gradiente ambiental bien definido desde las estaciones más cercanas a la desembocadura hacia las estaciones más oceánicas, caracterizadas por una disminución progresiva de la influencia continental y un aumento relativo de las condiciones típicamente marinas (Cely Calixto et al., 2023).

Diversos estudios realizados en sistemas costeros del centro-sur de Chile han descrito que las plumas fluviales actúan como zonas de transición donde se mezclan aguas continentales y marinas, modulando la distribución espacial de la salinidad, la turbidez, los nutrientes y la materia orgánica particulada (Villalobos-Soto et al., 2019). En este contexto las estaciones más próximas a la desembocadura suelen presentar una mayor carga de material terrígeno y orgánico de origen continental, mientras que las estaciones más alejadas reflejan una señal dominada por la productividad marina y la exportación de biomasa planctónica marina (Negri et al., 2016; Valdés & Castillo, 2014). Este gradiente generado por la pluma fluvial constituye un marco conceptual fundamental para la interpretación de los resultados del presente estudio, ya que permite evaluar como la influencia continental se atenúa progresivamente a lo largo de las cinco estaciones de muestreo, dando lugar a cambios en la composición bioquímica y elemental de los sedimentos. De este modo, el diseño espacial del muestreo captura la transición desde ambientes fuertemente influenciados por aportes fluviales hacia sectores predominantemente marinos, integrando los efectos combinados de la cuenca hidrográfica, la productividad costera y la actividad regional (Pliscoff, 2020).

Es por esta razón que esta memoria de título tiene por objetivo caracterizar, analizar, y determinar la asociación entre las variables hidrográficas y la composición bioquímica y elemental de los sedimentos superficiales marinos de la zona costera de la Región del Maule, así como también evaluar la calidad de este sedimento entre dos periodos primavera e invierno.

HIPÓTESIS

Hipótesis General

Las condiciones hidrográficas de la zona de estudio modulan espaciotemporalmente la composición bioquímica y elemental de los sedimentos superficiales marinos de la zona costera de la Región del Maule, en la premisa de que los cambios de caudal y precipitaciones pueden alterar la cantidad y el tipo de material depositado en los sedimentos marinos.

Hipótesis Específicas

1. La distribución espacial de los componentes bioquímicos y elementales de los sedimentos está condicionada por la proximidad de las desembocaduras y por cambios estacionales del caudal de los ríos Maule y Mataquito, factores que generan un gradiente de variación en la zona de estudio.
2. Las condiciones ambientales contrastantes entre el periodo de primavera e invierno favorecen la acumulación y depositación de material sedimentario de mayor calidad en la zona de estudio, particularmente durante el periodo de primavera.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto de las condiciones hidrográficas de la zona costera de la Región del Maule sobre la distribución espacio-temporal de la composición bioquímica y elemental de los sedimentos superficiales marinos asociados a la zona costera.

Objetivos Específicos

- O1: Cuantificar la composición elemental (carbono, nitrógeno y azufre) y bioquímica (carbohidratos, lípidos y proteínas) de los sedimentos superficiales recolectados en 5 estaciones asociadas a la zona costera de la Región del Maule.
- O2: Caracterizar la distribución espacio-temporal de los componentes bioquímicos y elementales presentes en los sedimentos de la zona de estudio.
- O3: Analizar las asociaciones entre las variables hidrográficas y la composición bioquímica y elemental de los sedimentos superficiales de la zona de estudio.
- O4: Determinar la calidad de los sedimentos superficiales de la zona de estudio mediante la aplicación de la razón PRT: CHO (Proteínas Totales / Carbohidratos Totales).

MÉTODOS

Recolección de sedimentos

El muestreo fue realizado durante el periodo estival (diciembre 2023) e invernal (agosto 2024) en la zona costera de la Región del Maule. Se establecieron cinco zonas de muestreo (Iloca, Mataquito, Huenchullami, Constitución y Maguillines) las que fueron establecidas con antelación en el proyecto FONDECYT de Iniciación N° 11230555 (Fig. 1). En cada zona de muestreo, y en la isobata entre 20-30 m de profundidad (estación somera), se recolectaron tres réplicas de sedimentos superficiales.

La ubicación de las estaciones de muestreo y sus coordenadas geográficas se muestran en la Tabla 1. El muestreo de sedimento marino fue realizado con ayuda de un mini box core tipo-Ekman. En cada estación de muestreo, se realizaron mediciones de variables fisicoquímicas del agua superficial (temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, potencial de oxidorreducción, sólidos disueltos totales y pH) con una sonda multiparámetros (modelo Hanna 98194) para caracterizar la columna de agua durante el día de muestreo. Posteriormente, cada muestra fue almacenada en bolsas plásticas, guardadas y etiquetadas a baja temperatura (~4°C, con gel de hielo) para su transporte al laboratorio.

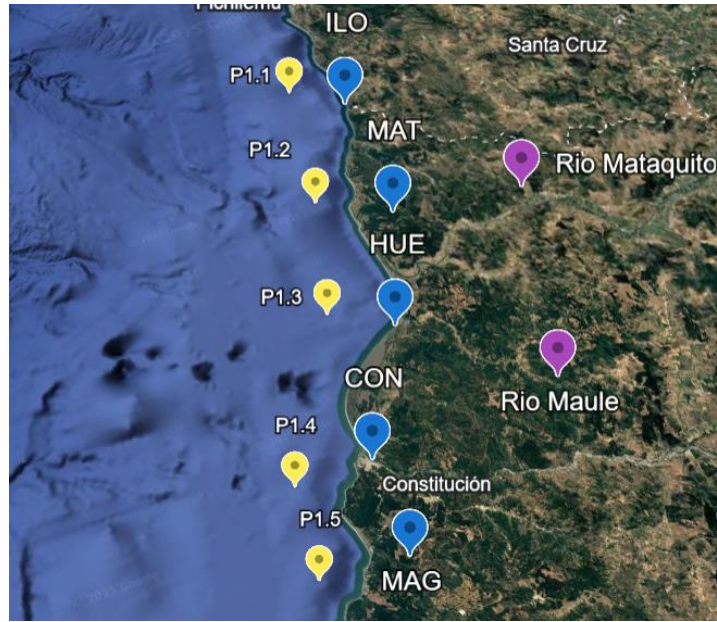


FIGURA 1

Disposición espacial de los transectos del muestreo en el área de estudio (Fuente: Mapa de Google Earth, Fuente: Imagen adaptada de metodología de proyecto FONDECYT de iniciación N°11230555).

TABLA 1

Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de sedimento marino desde el norte al sur de la Región del Maule, Chile central (35°S) (Tabla modificada de la memoria de título de Luengo, 2025).

| Estación | Sector | Punto de muestreo | Latitud | Longitud | Profundidad (m) |
|----------|--------------|-------------------|-----------|-----------|-----------------|
| P1 | Iloca | 1 | 34°53,7'S | 72°12,3'O | 29,0 |
| P2 | Mataquito | 1 | 34°53,9'S | 72°12,4'O | 27,0 |
| P3 | Huenchullami | 1 | 35°10,4'S | 72°20,4'O | 22,1 |
| P4 | Constitución | 1 | 35°14,5'S | 72°26,3'O | 23,0 |
| P5 | Maguillines | 1 | 35°20,1'S | 72°28,5'O | 23,0 |

Estimación de la composición bioquímica y elemental (C.N.S y TOC)

Las muestras del sedimento marino se llevaron al laboratorio de la Universidad Católica del Maule, donde fueron secadas a ~35°C con una estufa de aire forzado (Memmert) hasta alcanzar un peso constante. Con un mortero de ágata, las muestras fueron molidas y se tomaron aproximadamente 5 g de muestra para el análisis de contenido elemental y bioquímico.

Posteriormente, las muestras se distribuyeron para analizar el contenido de carbono orgánico total (TOC), nitrógeno total (TN), carbono total (TC), y azufre total (TS), proteína total (PRT), carbohidratos totales (CHO) y lípidos totales (LPD). El análisis elemental fue determinado con ayuda de un analizador elemental CHNS/O series II (Perkin Elmer 2400). Para analizar TOC, las muestras fueron pretratadas con ácido clorhídrico diluido (HCl, 10%) para eliminar el carbono inorgánico. El procedimiento analítico fue chequeado con un análisis rutinario de ácido sulfanílico (C₆H₇NO₃S) como material de referencia. Los resultados fueron expresados como porcentaje de peso seco (%). El análisis de proteína total (PRT) fue realizado siguiendo a Hartree (1972), mientras que para los carbohidratos (CHO) y lípidos (LPD) fueron analizados siguiendo a Dubois et al. (1956), y Barnes y Blackstock (1973), respectivamente. Las absorbancias fueron cuantificadas mediante espectrofotometría UV visible a 650 nm (PRT), 490 nm (CHO) y 520 nm (LPD).

El análisis de TOC se realizó en el Laboratorio de Biogeoquímica e Isótopos Estables Aplicados (Pontificia Universidad Católica de Chile) con un Espectrómetro de Masas de Razón Isotópica (Thermo Fisher Scientific, Delta V Advantage IRMS) acoplado a un Analizador Elemental (Flash, EA 2000). Los resultados fueron expresados como mg/g de la fracción seca.

Análisis estadísticos

Para evaluar cómo las condiciones ambientales modulan la composición de los sedimentos, hay que establecer relaciones entre las variables hidrográficas (precipitaciones, caudal y productividad biológica) y la composición bioquímica (carbohidratos, lípidos y proteínas) y elemental (nitrógeno, carbono y azufre) de sedimentos superficiales marinos. Para esto se realizó un ANDEVA de dos vías (fuentes de variación: Periodo y Sector) (Tabla 2), un PCA (Fig. 11) y un dendograma de similitud basado en la distancia euclidiana (Fig. 12). Con la finalidad de evaluar la calidad nutricia de los sedimentos, se utilizó la razón PRT: CHO como indicador del estado trófico de los sedimentos. Adicionalmente también se realizó una correlación de Spearman's D (TABLA 4) para determinar las asociaciones entre las variables analizadas, con ayuda del programa PAST.

RESULTADOS

Composición elemental de los sedimentos

El contenido de Azufre Total (ST) en los sedimentos superficiales mostró una variación espacial y estacional (Fig. 3). El valor máximo fue registrado en Constitución (CON) y durante primavera, mientras que el sector de Mataquito (MAT) presentó el contenido más bajo, también en primavera.

El Nitrógeno total (NT) fue la variable más estable, ya que no hubo diferencias significativas en sus valores ni tampoco entre estaciones de muestreo ni entre los sectores de la zona de estudio (Fig. 4). El Carbono total (CT) registró mayor contenido en Mataquito (MAT) durante primavera, y su menor concentración fue registrada en Maguillines (MAG) durante invierno (Fig. 5). El Carbono Orgánico Total (COT) fue significativamente mayor en Constitución (CON) durante primavera (Fig. 6), observándose una marcada diferencia entre estaciones y entre sectores.

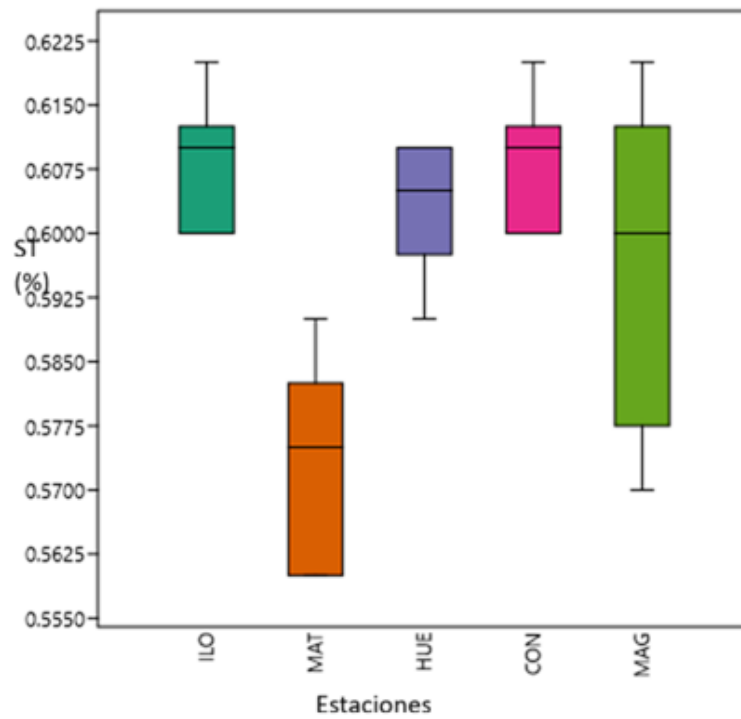


FIGURA 3

Contenido de Azufre Total (ST) (%) de los cinco sectores de estudio ILO, MAT, HUE, CON y MAG en los periodos de primavera e invierno. En la gráfica se muestran inter-cuartiles, desviación estándar y media (línea de cada caja).

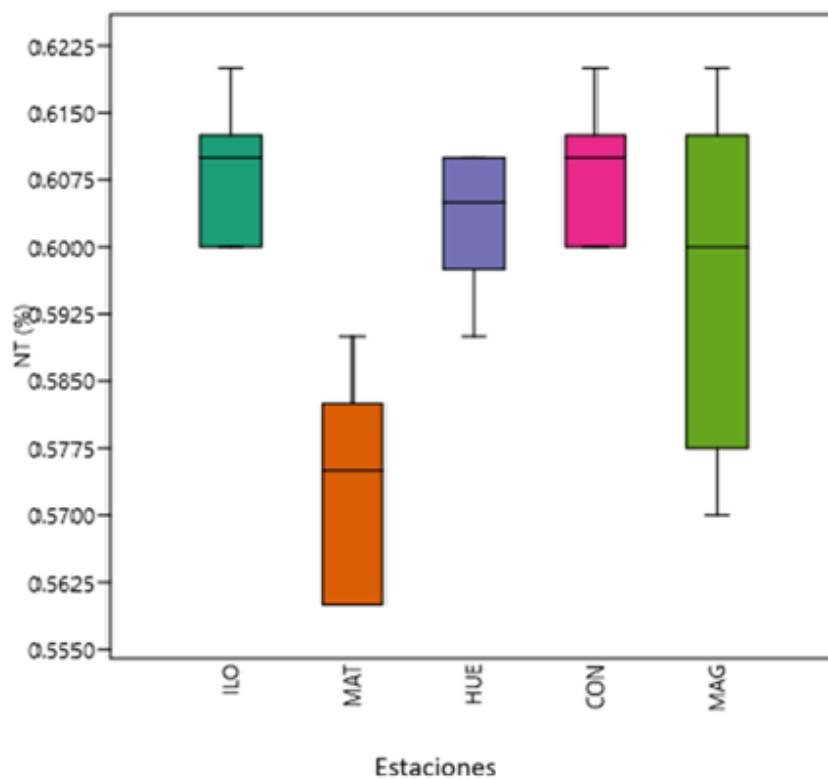


FIGURA 4

Contenido de Nitrógeno (NT) (%) de los cinco sectores ILO, MAT, HUE, CON y MAG en los periodos de primavera e invierno. En la gráfica se muestra inter-cuartiles, desviación estándar y media (línea en cada caja).

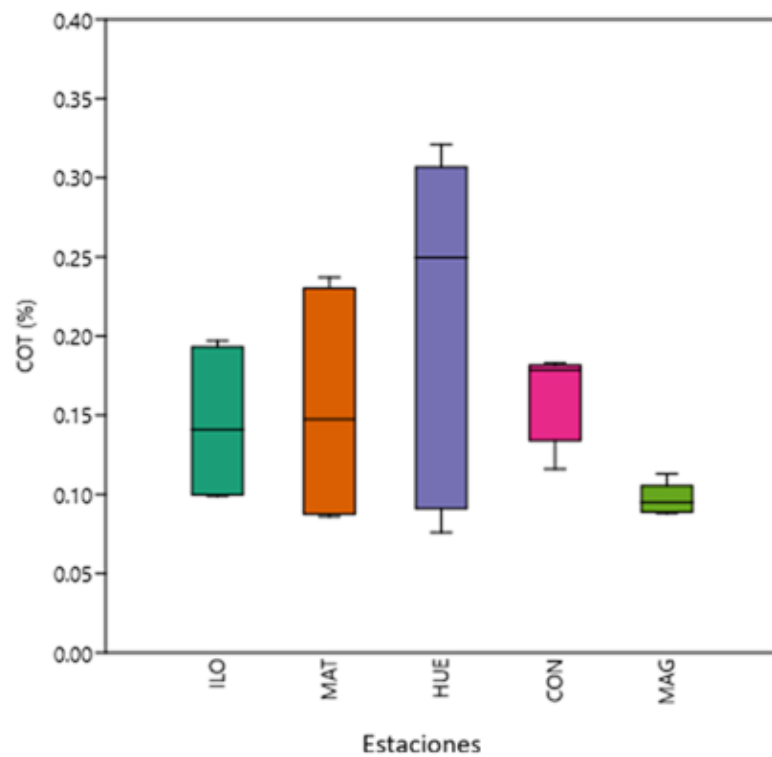


FIGURA 5

Contenido de Carbono orgánico Total (COT) (%) de los cinco sectores de estudio ILO, MAT, HUE, CON y MAG en los periodos de primavera e invierno. En la gráfica se muestran intercuartiles, desviación estándar y media (línea en cada caja).

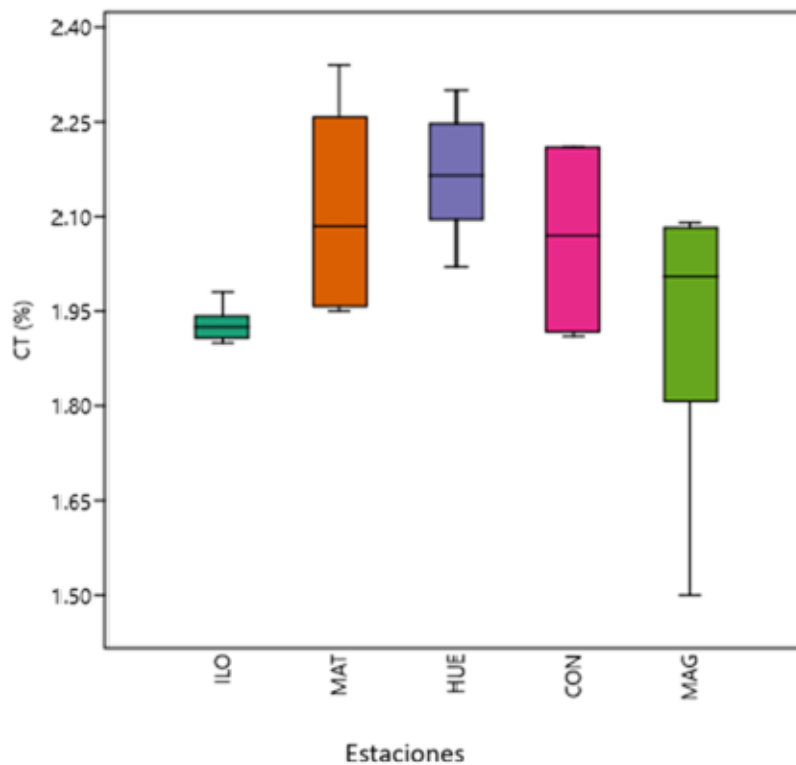


FIGURA 6

Contenido de carbono total (CT) (%) de los cinco sectores ILO, MAT, HUE, CON y MAG en los periodos de primavera e invierno. En la gráfica se muestran inter-cuartiles, desviación estándar y media (línea en cada caja).

Composición bioquímica y condición trófica

La composición bioquímica (Carbohidratos, Lípidos y Proteínas) mostró una clara asociación con el periodo de muestreo, siendo generalmente mayor en primavera (Fig. 11).

En Carbohidratos (CHO), el contenido más alto se observó en Maguillines (MAG) en primavera, mientras que la concentración más baja fue encontrada en Mataquito (MAT) (Fig. 7). Para Lípidos (LPD), al igual que para Carbohidratos, el contenido fue mayor en Maguillines (MAG) en primavera (Fig. 8). En Proteínas (PRT) en el periodo de primavera, no se observó variación significativa entre sectores. Sin embargo, en invierno el sector de Mataquito (MAT) registró el valor más bajo (Fig. 9).

En la Razón PRT: CHO (indicador de la calidad de la materia orgánica) registró el valor más alto en el sector de Huenchullami (HUE) durante primavera (Fig. 10).

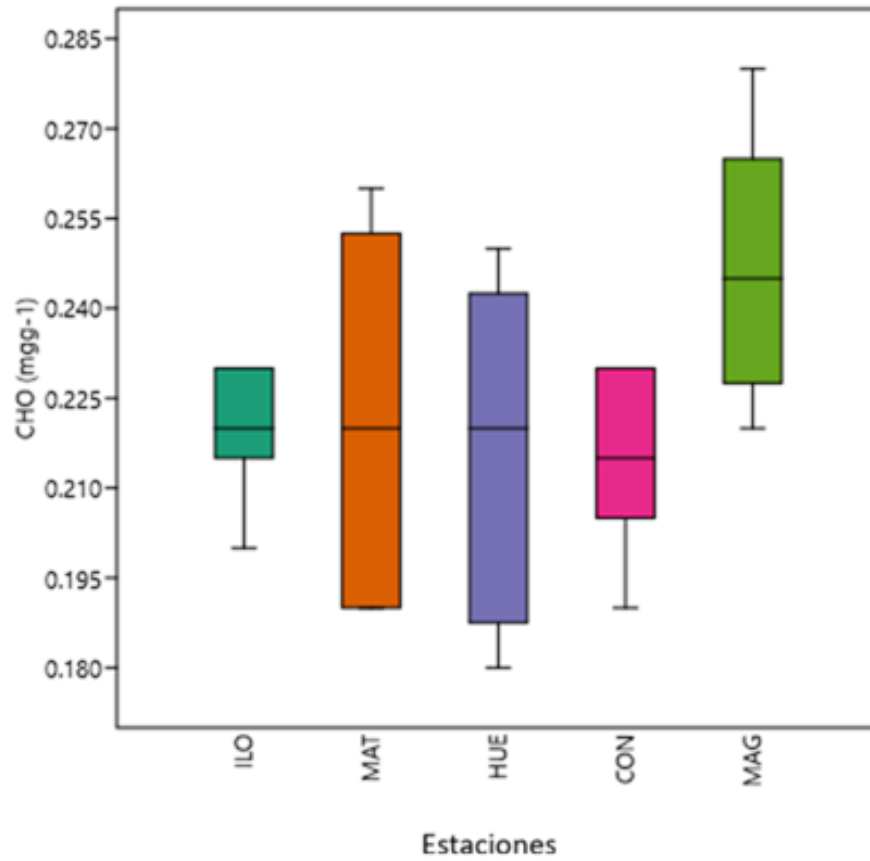


FIGURA 7

Contenido de carbohidratos totales (CHO) (mg g^{-1}) de los cinco sectores de estudio ILO, MAT, HUE, CON y MAG en los periodos de primavera e invierno. En la grafica se muestran los inter-cuartiles, desviación estándar y media (línea en cada caja).

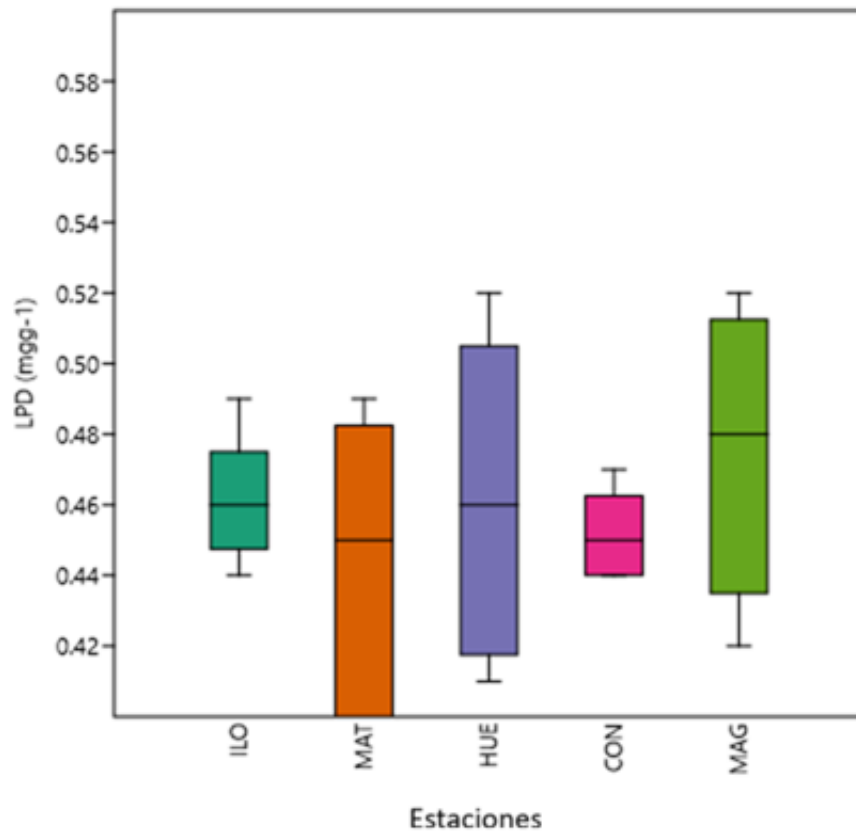


FIGURA 8

Contenido de lípidos totales (LPD) (mg g^{-1}) de los cinco sectores de estudio ILO, MAT, HUE, CON y MAG en los periodos primavera e invierno. En la gráfica se muestran inter-cuartiles, desviación estándar y media (línea en cada caja).

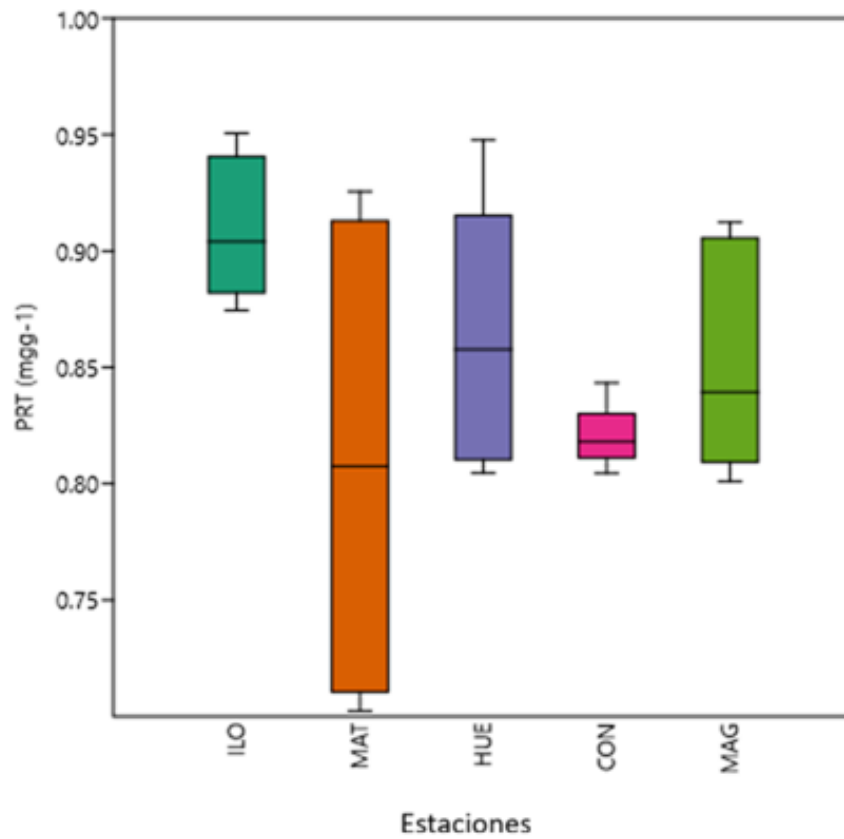


FIGURA 9

Contenido de proteínas totales (PRT) (mg g^{-1}) de los cinco sectores de estudio ILO, MAT, HUE, CON y MAG en los periodos de primavera e invierno. En la gráfica se muestran intercuartiles, desviación estándar y media (línea en cada caja).

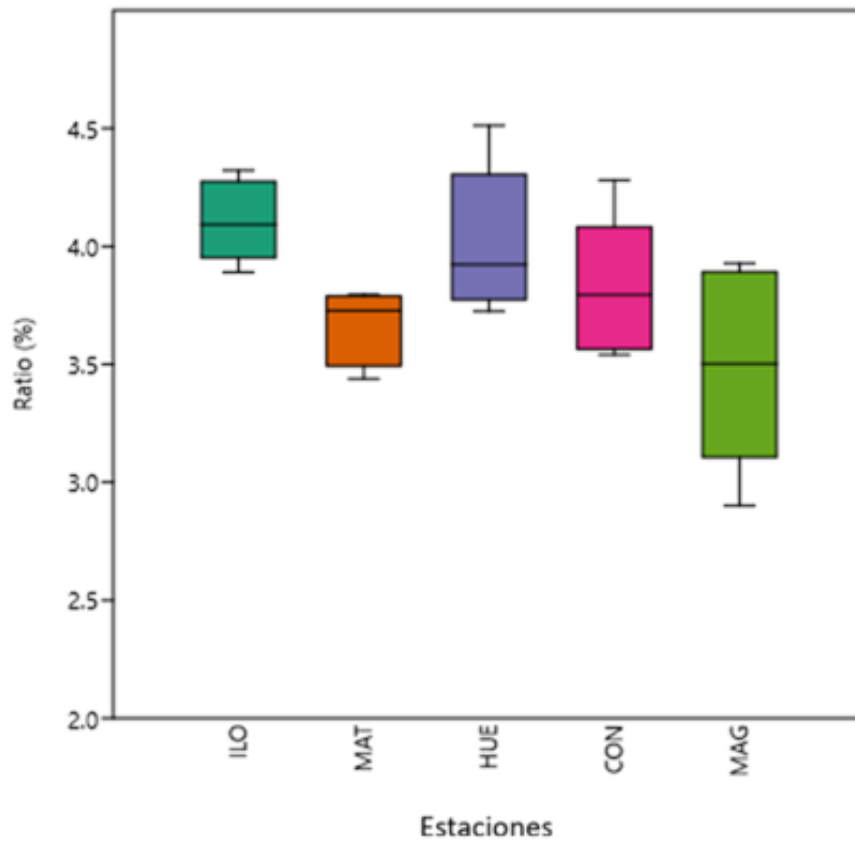


FIGURA 10

Razón de proteínas y carbohidratos (PRT: CHO) de los cinco sectores de estudio ILO, MAT, HUE, CON y MAG en los periodos de primavera e invierno. En la gráfica se muestran intercuartiles, desviación estándar y media (línea en cada caja).

Análisis estadístico univariado y multivariado (GLM y PCA)

Modelo Lineal General (GLM)

El GLM fue aplicado para evaluar la influencia de los factores Periodo (Primavera/Invierno) y Sector (ILO, MAT, HUE, CON y MAG) sobre la composición elemental y bioquímica (Tabla 2). El factor Periodo tuvo un efecto altamente significativo ($P= 0,001$) sobre todas las variables, exceptuando al Azufre Total (ST). Esto confirmaría una marcada variación estacional de la composición de la materia orgánica y el carbono. El Nitrógeno Total (NT) no fue afectado por el factor Periodo ($P= 0,755$), lo que concuerda con lo observado en la Fig. 4.

El factor Sector mostró una influencia altamente significativa ($P= 0,014$) en todas las variables analizadas, a excepción del Azufre (S) ($P= 0,068$), lo que sugiere una alta heterogeneidad espacial a lo largo de la zona costera.

La interacción P*S (Periodo*Sector) fue significativa ($P= 0,039$) para la mayoría de las variables (CT, CHO, LPD, PRT y TOC).

Análisis de componentes principales (PCA), clúster y correlación

El PCA (Fig. 11) y el dendograma (Fig. 12) confirmaron la variabilidad observada en la composición bioquímica y elemental de los sedimentos superficiales. El PCA permite diferenciar claramente los sectores de muestreo, siendo las variables bioquímicas (PRT, LPD y CHO) y el TOC las que explican mayormente la varianza (PC 1= 76,1% y PC 2= 34,5% de la varianza total), separando los sectores con alta influencia orgánica (ej. CON y MAT en primavera) de los sectores con menor acumulación. El análisis de conglomerados (Fig. 12) permitió identificar dos clústeres principales definidos primordialmente por la estacionalidad (Periodo), más que por la ubicación geográfica (Sector). El primer grupo asociado a los sectores Iloca (ILO) y Mataquito (MAT) durante el periodo de primavera, diferenciándolos del resto de las estaciones. El segundo clúster, agrupa la totalidad de los sectores durante el periodo de invierno (-20I) junto con Constitución (CON), Huenchullami (HUE) y Maguillines (MAG) en primavera. En el análisis de correlación de Spearman's D (TABLA 4) se observó una relación significativa ($P= 0,0038$) entre PRT y CHO, entre COT y PRT ($P= 0,0052$); COT y ST ($P= 0,006$), el COT se relaciona estrechamente con las proteínas (PRT) y el azufre (ST); por último, CT y LPD ($P= 0,049$) poseen una correlación significativa. En cuanto al CT y PRT no se observó una relación, al igual que CHO y LPD.

TABLA 2

Modelo lineal general (GLM) de los Periodos (primavera-invierno), Sector (ILO, MAT, HUE, CON y MAG) para la composición bioquímica (CHO, PRT y LPD) y elemental (CT, NT, ST y TOC).

| Variable | Factor | SS | MS | F | P |
|----------|---------|-----------|-----------|--------|-------|
| ST | Periodo | 0,0002700 | 0,0002700 | 1,93 | 0,180 |
| | Sector | 0,0014467 | 0,0003617 | 2,58 | 0,068 |
| | P*S | 0,0015133 | 0,0003783 | 2,70 | 0,060 |
| | Error | 0,0028000 | 0,0001400 | | |
| CT | Periodo | 0,345613 | 0,345613 | 47,56 | 0,000 |
| | Sector | 0,273267 | 0,068317 | 9,40 | 0,000 |
| | P*S | 0,089787 | 0,022447 | 3,09 | 0,039 |
| | Error | 0,145333 | 0,007267 | | |
| NT | Periodo | 0,0000133 | 0,0000133 | 0,10 | 0,755 |
| | Sector | 0,0051133 | 0,0012783 | 9,59 | 0,000 |
| | P*S | 0,0077133 | 0,0002217 | 1,66 | 0,198 |
| | Error | 0,0031333 | 0,0001333 | | |
| CHO | Periodo | 0,0022533 | 0,0022533 | 14,38 | 0,001 |
| | Sector | 0,0040200 | 0,0010050 | 6,41 | 0,002 |
| | P*S | 0,0077133 | 0,0019283 | 12,31 | 0,000 |
| | Error | 0,0031333 | 0,0001567 | | |
| LPD | Periodo | 0,0124033 | 0,0124033 | 65,28 | 0,000 |
| | Sector | 0,0031200 | 0,0007800 | 4,11 | 0,014 |
| | P*S | 0,0135467 | 0,0033867 | 17,82 | 0,000 |
| | Error | 0,0038000 | 0,0001900 | | |
| PRT | Periodo | 0,051601 | 0,051601 | 162,27 | 0,000 |
| | Sector | 0,036576 | 0,009144 | 28,75 | 0,000 |
| | P*S | 0,035225 | 0,008806 | 27,69 | 0,000 |
| | Error | 0,006360 | 0,000318 | | |
| TOC | Periodo | 0,060211 | 0,060211 | 93,48 | 0,000 |
| | Sector | 0,043120 | 0,010780 | 16,74 | 0,000 |
| | P*S | 0,030661 | 0,007665 | 11,90 | 0,000 |
| | Error | 0,012882 | 0,000644 | | |

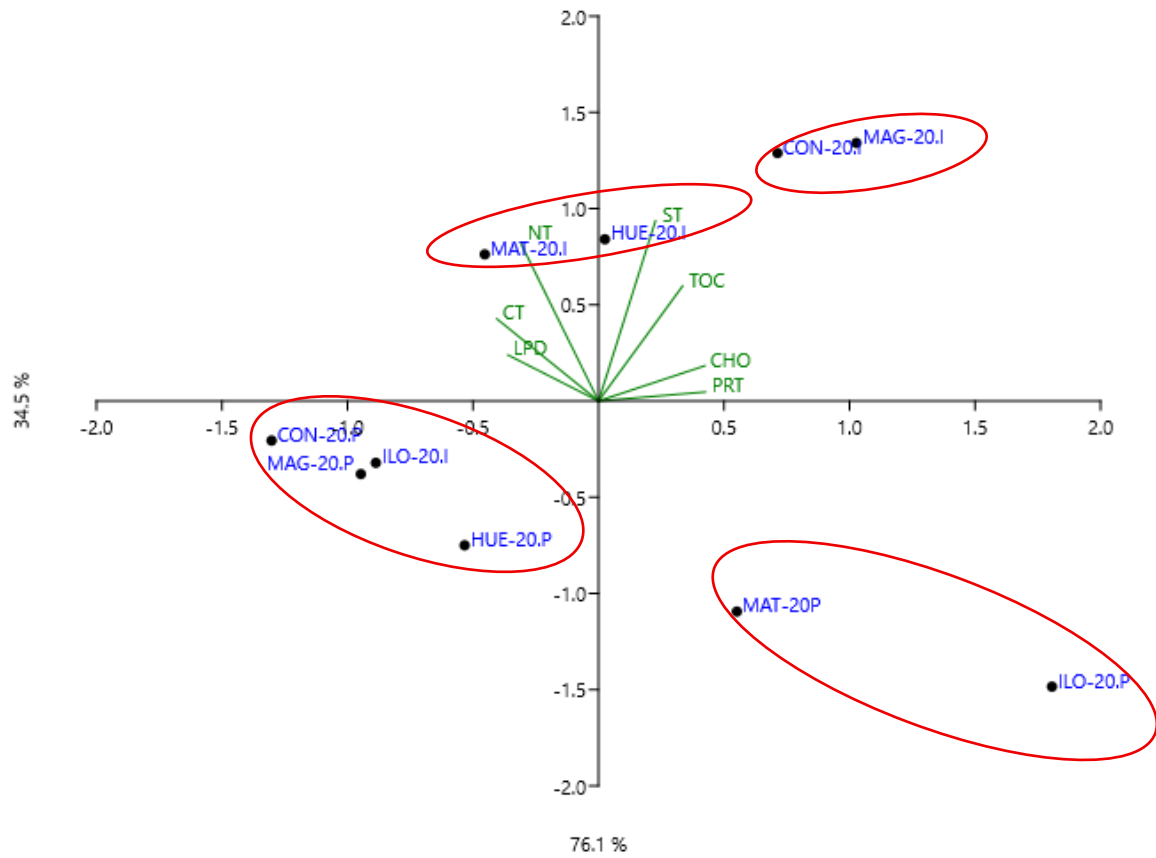


FIGURA 11

Análisis multivariado PCA, permite agrupar los sectores de estudio y su composición bioquímica y elemental en los periodos de primavera e invierno.

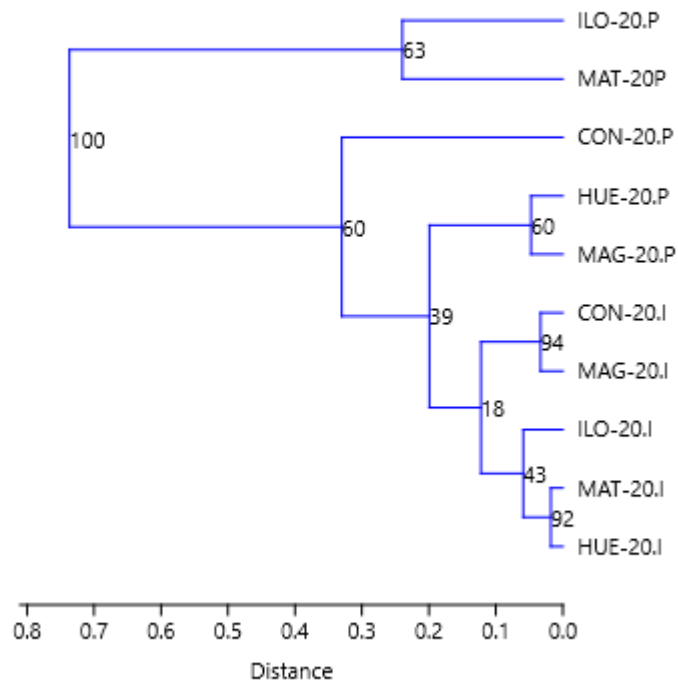


FIGURA 12

Dendrograma de disimilitud basado en distancia euclidiana.

TABLA 4

Tabla de correlación de Spearman's D de la composición bioquímica y elemental de la zona de estudio.

| | CHO | LPD | PRT | CT | ST | NT | TOC |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CHO | - | 1,9946 | 0,0038 | 1,9888 | 0,01 | 1,7072 | 0,028 |
| LPD | 1,9946 | - | 1,941 | 0,049 | 1,7062 | 0,042 | 1,7692 |
| PRT | 0,0038 | 1,941 | - | 2 | 0,0326 | 1,8568 | 0,0052 |
| CT | 1,9888 | 0,049 | 2 | - | 1,944 | 0,0826 | 1,992 |
| ST | 0,01 | 1,7062 | 0,0326 | 1,44 | - | 0,9874 | 0,006 |
| NT | 1,7072 | 0,042 | 1,8568 | 0,0826 | 0,9874 | - | 1,376 |
| TOC | 0,028 | 1,7692 | 0,0052 | 1,992 | 0,006 | 1,376 | - |

Caracterización hidrográfica y fluvial

Caudales del río Mataquito y río Maule

Los registros de caudal obtenidos de la Dirección General de Aguas (DGA) para los años 2023 y 2024 mostraron una clara tendencia estacional, caracterizada por un mayor caudal durante el periodo invernal (especialmente entre junio y agosto) con el máximo en 2023 para el Río Maule (Fig. 13). En cuanto al río Mataquito, se observó la misma tendencia, caracterizada por un mayor caudal concentrado entre junio y agosto de 2023 y 2024 (Fig. 14). Esta descarga fluvial durante el invierno es de suma importancia, ya que representaría, potencialmente, el periodo de mayor aporte de material terrígeno y de materia orgánica de origen continental (alóctono) a la zona costera en ese periodo.

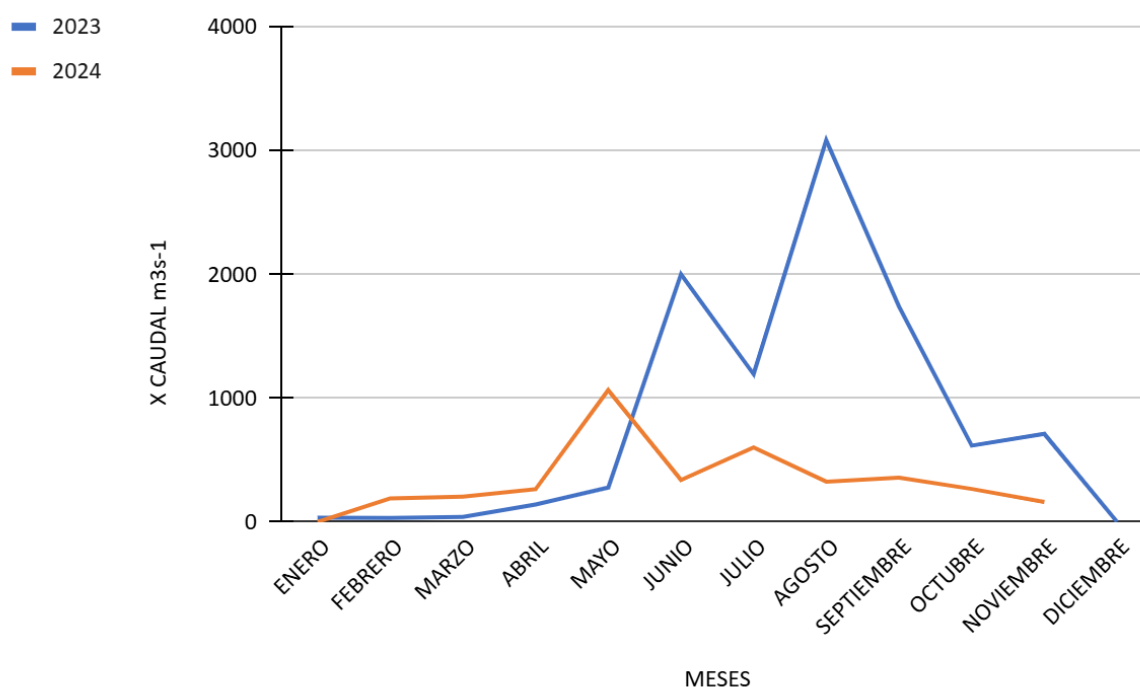


FIGURA 13

Variación mensual del Caudal del Río Maule (m^3s^{-1}) entre los años 2023 y 2024 (datos extraídos de la DGA).

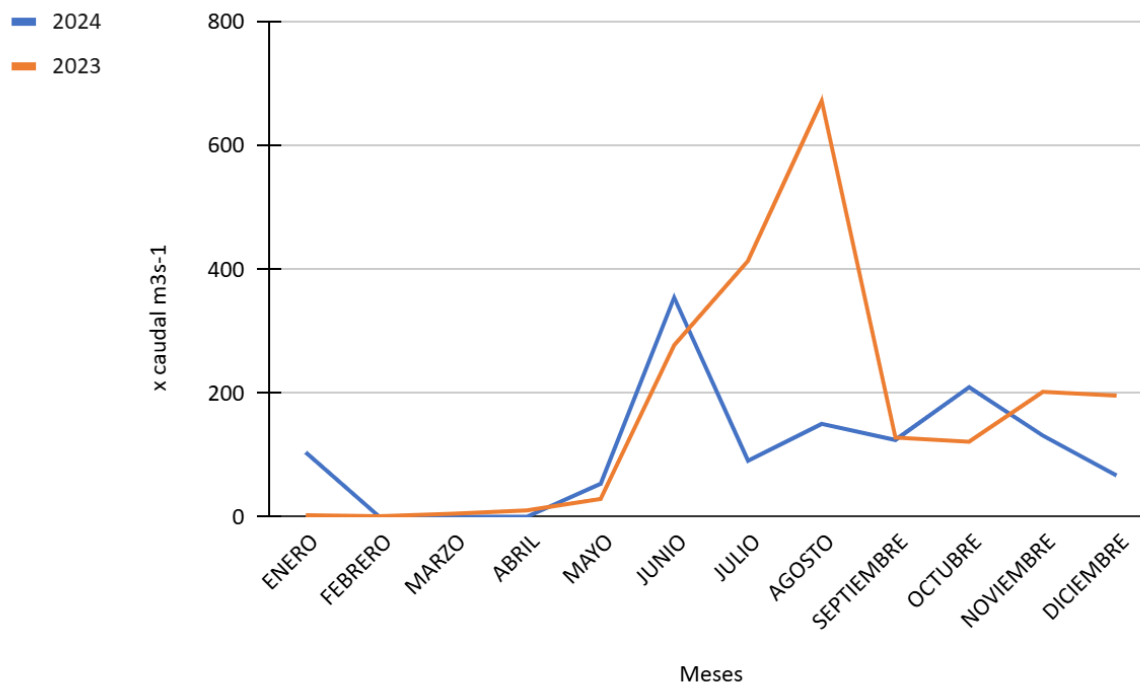


FIGURA 14

Variación mensual del Caudal del Río Mataquito (m^3s^{-1}) entre los años 2023 y 2024 (datos extraídos de la DGA).

Precipitaciones en las cuencas

La concentración de las precipitaciones en las cuencas del Maule y Mataquito corresponden al principal responsable del patrón de caudal. Las precipitaciones en ambas cuencas se concentraron mayormente en invierno (junio a agosto) de 2023 y 2024 (Fig. 15 y Fig. 16), lo cual estaría directamente relacionado con el aumento del caudal en el mismo periodo.

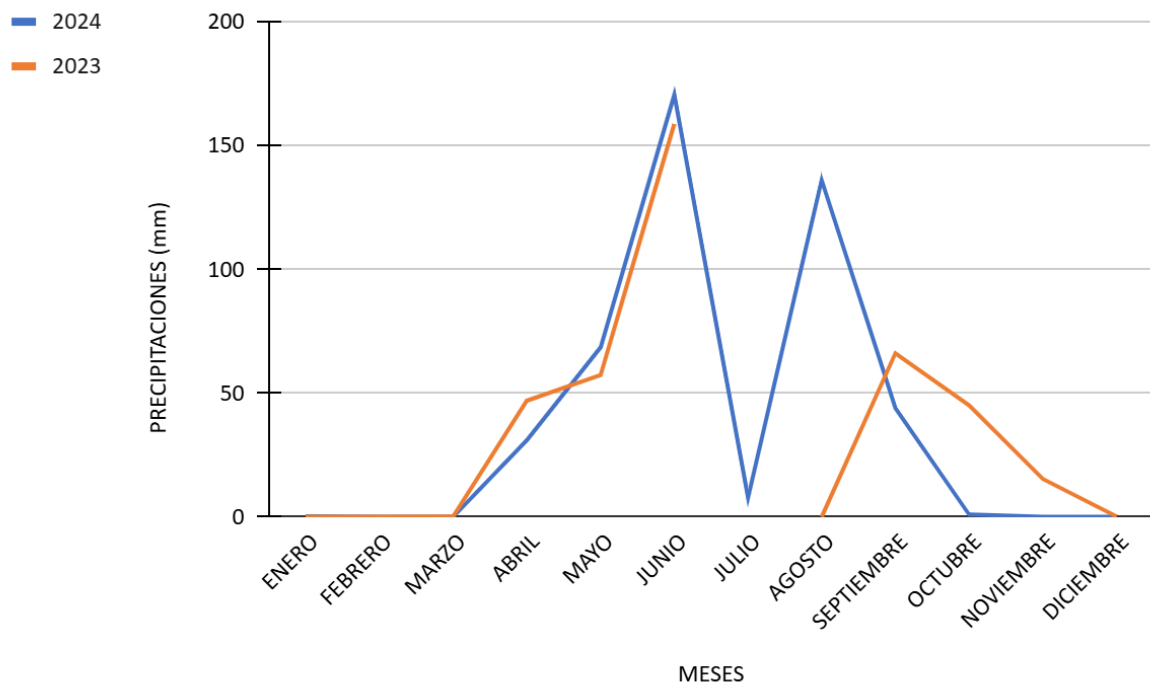


FIGURA 15

Precipitaciones del río Mataquito (mm) entre los años 2023 y 2024 (Datos extraídos de la DGA).

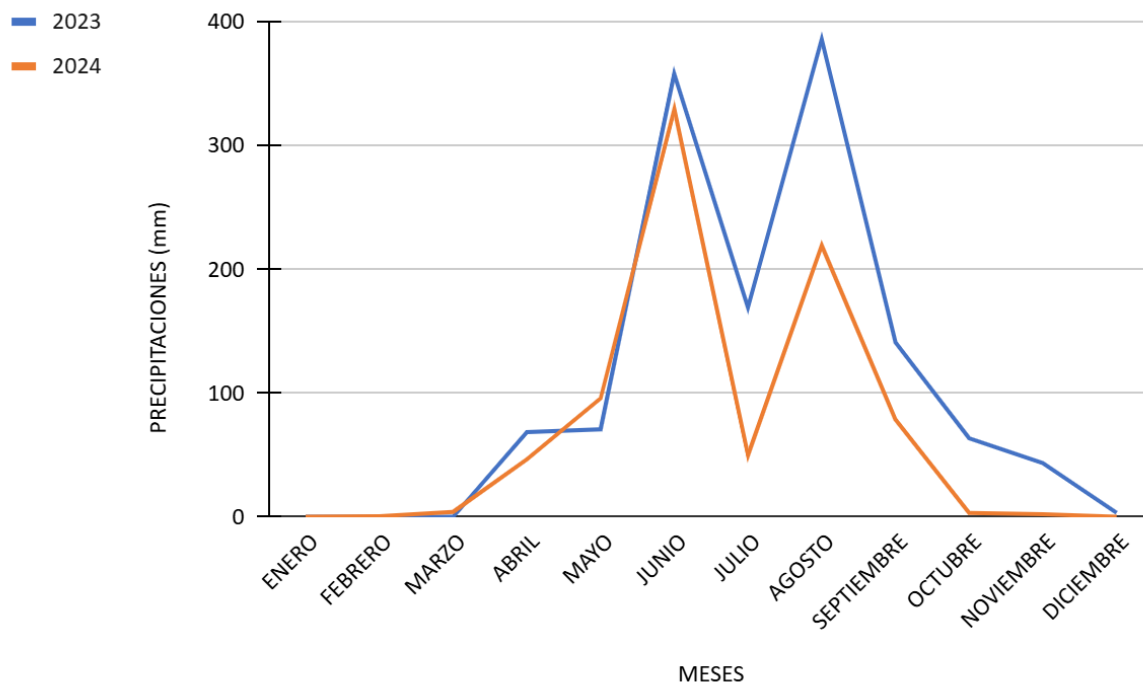


FIGURA 16

Precipitaciones del río Maule (mm) entre los años 2023 y 2024 (datos extraídos de la DGA).

DISCUSIÓN

Control estacional sobre la composición sedimentaria

Los resultados obtenidos en este estudio confirmarían que la estacionalidad constituye el principal factor que regula la variabilidad de la composición bioquímica y elemental de los sedimentos marinos superficiales, en concordancia con la hipótesis general del estudio. Durante el periodo primaveral se registraron mayores concentraciones de carbono orgánico total (TOC) y de fracciones bioquímicas lábiles, particularmente proteínas (PRT) y lípidos (LPD), lo que sugiere una mayor exportación de materia orgánica fresca desde la columna de agua hacia los sedimentos. Este patrón es consistente con el fortalecimiento de los procesos de surgencia asociados al Sistema de la Corriente de Humboldt, los cuales incrementan la disponibilidad de nutrientes y la productividad (Schulte et al., 2024; Castillo et al., 2021).

Al comparar estos valores con los reportados en el ANEXO 1, se observó que las concentraciones de TOC y fracciones lábiles durante la primavera se situaron dentro del rango descrito para otros ambientes costeros (Vezzulli & Fabiano, 2006) y también en zonas de surgencia, aunque sin alcanzar los valores máximos registrados en áreas de surgencia permanente del norte de Chile (Castillo et al., 2021). Esto sugiere que la zona costera del Maule presentaría una condición intermedia, donde la productividad marina estacional jugaría un rol clave, pero modulada por el componente fluvial que incorpora material sedimentario continental hacia los sedimentos del fondo.

Durante el invierno, los sedimentos mostraron una composición más homogénea y también una disminución de la fracción lábil de la materia orgánica, lo que puede atribuirse a una menor producción biológica marina y a un potencial aumento relativo del aporte continental, que estaría asociado al incremento del caudal de los ríos presentes en la zona de estudio. Este comportamiento concuerda con estudios previos realizados en sistemas costeros del centro-sur de Chile, donde la señal biogénica tiende a diluirse durante periodos de alta descarga fluvial (Silva & Astorga, 2010; Pantoja et al., 2011).

Gradiente espacial asociado a la pluma fluvial

La distribución espacial de las variables bioquímicas y elementales evidenció un gradiente claramente asociado a la pluma fluvial generada en las desembocaduras de los ríos Maule y Mataquito, aspecto que validaría la primera hipótesis específica. Las estaciones más próximas a la desembocadura presentaron características propias de ambientes con fuerte influencia continental (ANEXO 2), tales como una menor proporción relativa de proteínas y lípidos y una señal sedimentaria más homogénea.

Hacia las estaciones más alejadas de la costa, la disminución progresiva de la influencia fluvial dió lugar a un aumento relativo de las fracciones lábiles y del TOC, reflejando una mayor contribución de materia orgánica de origen autóctono. Este patrón espacial es coherente con lo descrito para plumas fluviales costeras en otros sistemas del centro-sur de Chile y del Sistema de la Corriente de Humboldt, donde se observó una transición desde sedimentos dominados por aportes terrígenos hacia sedimentos controlados por la producción biológica exportada (Silva et & Astorga., 2010; Valdés & Castillo, 2014).

La comparación con los estudios compilados en el ANEXO 1 refuerza esta interpretación, ya que los valores registrados en las estaciones más oceánicas del Maule son comparables con aquellos reportados en ambientes con menor influencia fluvial, mientras que las estaciones cercanas a la desembocadura se asemejan a sistemas costeros dominados por aportes continentales.

Calidad de la materia orgánica y procesos de degradación

El predominio de proteínas y lípidos durante primavera, junto con valores elevados de la razón PRT: CHO, sugiere que la materia orgánica sedimentaria presentaría una mayor calidad nutricional durante este periodo, Estos resultados concuerdan con la segunda hipótesis específica y con lo reportado en estudios previos que utilizan la composición bioquímica como indicador del estado trófico del sedimento (Fabiano et al., 1995; Castillo et al., 2021).

En comparación con los rangos presentados en el ANEXO 1, los valores de la razón PRT: CHO observados en primavera se ubican dentro del rango típico de sedimentos enriquecidos en materia orgánica lábil, mientras los valores invernales se asemejan a aquellos descritos para sedimentos con mayor grado de degradación. Esto sugiere que las condiciones ambientales

contrastantes entre estaciones influyen directamente en la calidad de materia orgánica que alcanza y se preserva en el sedimento (Lopez-Fernandez et al., 2013).

Comportamiento del nitrógeno y del azufre en el sedimento

El nitrógeno total (NT) registró un comportamiento relativamente conservativo, sin diferencias significativas entre estaciones ni entre sectores, lo que sugiere un equilibrio entre los procesos de aporte, reciclaje y enterramiento (Gray & Elliott, 2009). Este patrón ha sido descrito en otros sistemas costeros productivos, donde el nitrógeno sedimentario integra procesos de mayor escala temporal y no responde de forma inmediata a la variabilidad estacional (Burdige, 2007). En contraste, el azufre total (ST) mostró una asociación positiva con el TOC y con las proteínas, especialmente durante primavera. Este comportamiento sugiere condiciones redox favorables para la preservación de materia orgánica lábil, la cual podría estar mediada por episodios de mayor transporte de sedimentos continentales hacia la zona marina. Adicionalmente, la reducción bacteriana del sulfato podría favorecer una preservación de la materia orgánica lábil. Valores similares de asociación TOC-ST han sido reportados en sedimentos costeros incluidos en el ANEXO 1 y en estudios realizados en sistema de surgencia del Pacífico suroriental (Valdés & Castillo, 2014).

Integración regional y relevancia ambiental

En conjunto, los resultados permiten cumplir los objetivos específicos del estudio y posicionan a la zona costera de la Región del Maule como un sistema intermedio (desde el punto de vista “trófico”) en el Sistema de la Corriente de Humboldt. La comparación con los antecedentes del ANEXO 1 indica que este sistema combina características propias de áreas altamente productivas con una marcada influencia fluvial estacional, lo que hace particularmente sensible a cambios en los sistemas climáticos e hidrológicos (Gray & Elliott, 2009).

Los sedimentos marinos superficiales del Maule actúan como integradores ambientales eficientes, registrando tanto la exportación de materia orgánica asociada a la productividad marina como los aportes continentales modulados por la cuenca hidrográfica y la actividad antrópica regional. En este contexto, el análisis bioquímico y elemental de los sedimentos se consolida como una herramienta clave para la evaluación ambiental y para la comprensión de

la respuesta de los ecosistemas costeros frente a escenarios de variabilidad climática y cambio ambiental.

CONCLUSIONES

1. Se confirma la hipótesis general del estudio, ya que las condiciones hidrográficas de la zona costera de la Región del Maule modulan de manera significativa la composición bioquímica y elemental de los sedimentos marinos superficiales. En particular, la estacionalidad (primavera-invierno) se identificó como el principal factor estructurador, cumpliéndose el objetivo general de evaluar la influencia de los procesos marinos y fluviales sobre la materia orgánica sedimentaria.
2. La distribución espacial de los sedimentos estuvo condicionada por el gradiente generado por la pluma fluvial asociada a las desembocaduras de los ríos Maule y Mataquito, validando la primera hipótesis específica y el objetivo específico 2. Las estaciones más cercanas a la desembocadura presentaron una mayor influencia continental, mientras que las estaciones más oceánicas reflejaron una señal dominada por procesos marinos y por la exportación de materia orgánica de origen autóctono.
3. La caracterización bioquímica y elemental de los sedimentos evidenció una clara variabilidad estacional, con mayores concentraciones de carbono orgánico total, proteínas y lípidos durante la primavera, asociadas a una mayor productividad biológica. En contraste, durante invierno predominó una materia orgánica más homogénea y con mayor influencia continental, asociada al aumento del caudal fluvial.
4. La calidad de la materia orgánica sedimentaria fue mayor durante el periodo primaveral, lo que se reflejó en valores elevados de la razón PRT: CHO y en el predominio de fracciones lábiles. Estos resultados confirman la segunda hipótesis específica y demuestran que las condiciones ambientales contrastantes entre estaciones favorecen la acumulación de sedimentos de mayor calidad trófica, especialmente durante el periodo estival (primavera).
5. El nitrógeno total (NT) presentó un comportamiento conservativo, sin variaciones significativas entre estaciones ni sectores, lo que indica un potencial equilibrio entre los procesos de aporte, reciclaje y enterramiento a escalas temporales mayores. En contraste, el azufre total (ST) se asoció positivamente con el carbono orgánico y las proteínas, sugiriendo condiciones redox más reducidas en sedimentos con mayor carga orgánica, especialmente en primavera.

6. La comparación con los antecedentes incluidos en el ANEXO 1 permitió posicionar a la zona costera de la Región del Maule como un sistema con estado trófico intermedio dentro del Sistema de la Corriente de Humboldt, que combina características de ambientes altamente productivos con una marcada influencia fluvial estacional. Esta condición confiere al ecosistema local una alta sensibilidad frente a cambios en los sistemas climáticos e hidrológicos.

7. En conjunto, los sedimentos marinos superficiales del Maule actúan como integradores ambientales eficientes, registrando de forma coherente la interacción entre productividad marina, aportes continentales y actividad antrópica regional. El análisis bioquímico y elemental se consolida, así como una herramienta clave para la evaluación ambiental y para la comprensión de la dinámica de los ecosistemas costeros frente a escenarios de variabilidad climática y cambio ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alongi D M, Sasekumar A, Tirendi F, Dixon P (1998) The influence of stand age on benthic decomposition and recycling of organic matter in managed mangrove forests of Malaysia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 225(2): 197-218.
- Barnes H, Blackstock J (1973) Estimation of lipids in marine animals and tissues: detailed investigation of the sulphophosphovanillin method for “total” lipids. *Journal of experimental marine biology and ecology*. 12: 103-118. DOI: 10.1016/0022-0981(73)90040-3.
- Bernal G, Betancur J (1996) Sedimentología de lagunas costeras: ciénaga grande de Santa Marian y ciénaga de Pajarales. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. INVEMAR* 25(1): 46-76.
- Bustamante M, Campos, R (2004) Contaminación por plaguicidas en la Región del Maule, Chile. *Panorama Socioeconómico* (28), 0. 16 pp.
- Burdige D J (2007). Preservation of organic matter in marine sediments: controls. Mechanisms, and an imbalance in sediment organic carbon budgets? *Chemical reviews*. 107(2): 467-485.
- Castillo A, Hromic T, Uribe RA, Valdés J, Sifeddine A, Quezada L, Vega S-E, Arencibia A, Díaz-Ochoa J, Guíñez M (2021) Living (stained) calcareous benthic foraminiferal assemblages (>125 µm) in a coastal upwelling zone of the Humboldt Current System, Northern Chile (~27°S). *Regional Studies in Marine Science* 44: 101725. DOI: 10.1016/j.rsma.2021.101725.
- Castillo A, Valdés J, Sifeddine A, Vega S-E, Díaz-Ochoa J, Marambio Y (2019) Evaluation of redox-sensitive metals in marine surface sediments influenced by the oxygen minimum zone of the Humboldt Current System, Northern Chile. *International Journal of Sediment Research* 34(2): 178-190. DOI: 10.1016/j.ijsrc.2018.08.005.
- Cely Calixto N, Becerra Moreno D, Cárdenas Gutiérrez J (2023) Causas y consecuencias de la contaminación de aguas superficiales. Edición Nueva Jurídica. Bogotá. 57 pp. URL: <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6720>.
- Danovaro R, Gambi C, Dell’Anno A, Corinaldesi C, Fraschetti S, Vanreusel A & Gooday A J (2008). Exponential decline of Deep-sea ecosystem functioning linked to benthic biodiversity loss. *Current Biology*. 18:1-8. DOI: 10.1016/j.cub.2007.11.056.
- Dell’Anno A, Mei ML, Pusceddu A, Danovaro R (2002) Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: a new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. *Marine Pollution Bulletin* 44(7): 611-622. DOI: 10.1016/S0025-326X(01)00302-2.

- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28(3): 350-356. DOI: 10.1021/ac60111a017.
- Fabiano M, Danovaro R, Frascchetti S (1995) A three-year time series of elemental and biochemical composition of organic matter in subtidal sandy sediments of the Ligurian Sea (northwestern Mediterranean). *Continental Shelf Research* 15(11-12): 1453-1469. DOI: 10.1016/0278-4343(94)00088-5.
- Fry J C (1987) Detritus and microbial ecology in aquaculture (pp. 83-122). D.J.W. Moriarty & R.S.V. Pullin, ICLARM Conference Proceedings.
- Graf G, Meyer-Reil LA (1985) Remineralization of organic substances on benthic surfaces in the intertidal reef area off Mactan, Cebu, Philippines. *Philippine Scientist* 22: 42-46.
- Gray SJ, Elliott M (2009) *Ecology of Marine Sediments: From science to management*. Oxford University Press, second edition. DOI: 10.1093/oso/9780198569015.001.0001.
- Gutiérrez MH, Pantoja S, Quiñones RA, González RR (2010) First record of filamentous fungi in the coastal upwelling ecosystem off central Chile. *Gayana*, 74(1) : 66-73. DOI: 10.4067/S0717-65382010000100010.
- Levin LA, Etter RJ, Rex MA, Gooday AJ, Smith CR, Pineda J, Stuart TC, Hessler RR, Pawson D (2001) Environmental influences on regional deep-sea species diversity. *Annual review of ecology and systematics*, 32: 51-93. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114002.
- Lopez-Fernandez P, Bianchelli S, Pusceddu A, Calafat A, Sánchez-Vidal A, Danovaro R (2013) Bioavailability of sinking organic matter in the Blanes canyon and the adjacent open slope (NW Mediterranean Sea). *Biogeosciences* 10(5): 3405-3420. DOI: 10.5194/bg-10-3405-2013.
- Luengo J V (2025) Evaluación ambiental y de riesgo ecológico de los sedimentos costeros de la región del Maule. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile, Concepción. 46 pp. Memoria de Título. Biología Marina.
- Negri R M, Molinari G, Carignan M, Ortega L, Ruíz M G, Cozzolino E & Leonarduzzi E (2016). Ambiente y Plancton en la Zona común de Pesca Argentino-Uruguaya en un escenario de cambio climático (marzo, 2014). ISSN: 1015-3233.
- Pantoja S, Iriarte J L & Daneri G (2011). Oceanography of Chilean Patagonia. *Continental shelf research*. 31(3-4): 149-153. DOI: 10.1016/j.csr.2010.10.013.
- Pávez Moreno DT (2016) Recarga artificial de acuíferos en la cuenca del río Maule: Determinación de sectores favorables y evaluación económica. Universidad de Chile, Chile. Memoria de Título de Geología.

- Pineda V (2009) Granulometría y geoquímica de los sedimentos marinos en el área comprendida entre el seno Reloncavi y golfo Corcovado, Chile. *Crucero CIMAR 10 Fiordos. Ciencia y Tecnología del Mar* 32(1): 27-47.
- Pliscoff P (2020) Análisis del estado actual de los ecosistemas terrestres, asociados a dos cuencas costeras en la Región del Maule, p. 9-36. Informe técnico. EH2030.
- Pusceddu A, Dell'Anno A, Fabiano M, Danovaro R (2009) Quantity and bioavailability of sediment organic matter as signatures of benthic trophic status. *Marine Ecology Progress Series* 375: 41-52.
- Sabater S (2016) Conceptos y técnicas en ecología fluvial. 1.a Ed. Fundación BBVA, España. 347-365 pp. URL: <http://hdl.handle.net/11336/115016>.
- Schulte A, Schulte L, Peña J C, Fuller I C, Carvalho F, Schulte S (2024) Decoding spatiotemporal pattern of flood episodes and climatic variability in western and eastern catchments of the Southern Alps, New Zealand. *Copernicus Meetings*.
- Silva N, Astorga MI (2010) Textura, materia orgánica y composición química elemental (C y N) de sedimentos marinos superficiales de la zona Puerto Montt a Boca del Guafo (Norpatagonia chilena). *Latin American Journal of Aquatic Research* 38(1): 1-14. DOI: 10.3856/vol38-issue1-fulltext-1.
- Rodríguez Meza GD (2005) Caracterización geoquímica por componentes mayores y elementos traza de sedimentos de los ambientes marinos costeros adyacentes a la península de Baja California (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).
- Thrush S, Hewitt J, Pilditch C, Norkko A (2021) *Ecology of Coastal Marine Sediments: Form, Function, and Change in the Anthropocene*. 1.a Ed. Oxford University Press. DOI: 10.1093/oso/9780198804765.001.0001.
- Valdés J, Castillo A (2014) Evaluación de la calidad ambiental de los sedimentos marinos en el sistema de bahías de Caldera (27°S), Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research* 42(3): 497-513.
- Vezzulli L, Fabiano M (2006) Sediment biochemical and microbial variables for the evaluation of trophic status along the Italian and Albanian continental shelves. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 86(1): 27-37. DOI: 10.1017/S0025315406012823.
- Villalobos Soto R, Ruiz Guevara N, Durán Gárate L, Álvarez Latorre D, Malfanti Torres O, Herreros de Lartundo J, Donoso Rodríguez JJ (2019) Propuesta de gobernanza para la restauración de paisajes en las regiones de O'Higgins y del Maule en Chile. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Informe técnico. SIDALC.
- Wetzel RG (2001) *Limnology: lake and river ecosystems*. 3.a Ed. Academic Press, Estados Unidos. 1006 pp.

ANEXO 1: COMPARACION DE COMPOSICION BIOQUIMICA Y ELEMENTAL

TABLA 3

Comparación de composición bioquímica y elemental de diversos ambientes costeros de Chile, Golfo de Marconi y Albania.

| Sector | PRT | CHO | TOC | LPD | N | S | Referencias |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------------------------------|
| B. Mejillones | - | - | 0,18 | - | 0,22 | 0,40 | (Valdés et al., 2014) |
| B. Caldera | - | - | 0,01 | - | 0,10 | 0,20 | (Valdés et al., 2014) |
| B. Inglesa | 0,20 | 0,18 | 0,50 | 0,45 | 0,10 | - | (Castillo et al., 2019;2021) |
| Golfo de Marconi | 0,45 | 0,55 | 0,24 | 0,22 | 0,33 | - | (Fabiano et al., 1995) |
| Albania | 0,30 | 0,80 | - | 0,20 | - | - | (Vezzulli & Fabiano, 2006) |
| Este estudio | 0,77 | 0,20 | 0,1 | 0,44 | 0,21 | 1,80 | - |

**ANEXO 2: TABLA DE SALINIDAD DE LAS ESTACIONES DE LA ZONA DE
MUESTREO**

TABLA 4

Salinidad de las cinco estaciones de muestreo (ILO-MAT-HUE-CON-MAG)

| Sector | Periodo | Salinidad (PSU) |
|--------------|-----------|--------------------|
| Iloca | primavera | 32.61 |
| | invierno | 34.50 |
| Mataquito | primavera | 28.40 |
| | invierno | 34.43 |
| Huenchullami | primavera | 31.27 |
| | invierno | 33.71 |
| Constitución | primavera | 17.52 |
| | invierno | 34.46 |
| Maguillines | primavera | 21.12 |
| | invierno | 24.60 |