



SUBCONTRATO



Informe Final

**RED DE MONITOREO AMBIENTAL DE ECOSISTEMAS MARINOS DEL
GOLFO DE ARAUCO**

Resolución Exenta N° 0366/2021
Ministerio de Medio Ambiente

Concepción, 21 de diciembre de 2022

EQUIPO DE TRABAJO

Marco Salamanca O.	Jefe de Proyecto	<i>Coordinación general Análisis de Calidad Química Análisis y optimización del monitoreo</i>
Aldo Hernández R.	Investigador	<i>Análisis estadísticos Ecología Bentónica Fondo Rocoso Análisis y optimización del monitoreo</i>
Cristian Chandía V.	Investigador	<i>Coordinador muestreo y análisis de laboratorio Análisis de Calidad Química Análisis y optimización del monitoreo</i>
Eduardo Hernández M.	Investigador	<i>Análisis Ecología Bentónica Submareal Análisis y optimización del monitoreo</i>
José Miguel Bogdanovich R.	Investigador	<i>Análisis Ecología Bentónica Intermareal Fondo Arenoso Análisis crítico y optimización del monitoreo</i>
Carlos Leal G.	Investigador	<i>Generación de bases de datos Apoyo en análisis estadístico Elaboración de informes</i>

RESUMEN

El presente documento, corresponde al informe final del Proyecto denominado RED DE MONITOREO AMBIENTAL DE ECOSISTEMAS MARINOS DEL GOLFO DE ARAUCO, cuyo objetivo general implica efectuar un monitoreo ambiental de los ecosistemas marinos y costeros del Golfo de Arauco, cuya información sirva de insumo para la elaboración de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas marinas y sedimentos del Golfo de Arauco.

En este informe se entregan los resultados obtenidos en las campañas de muestreo realizadas durante primavera (octubre 2021), verano (enero 2022) e invierno (julio-agosto 2022), se incluye la descripción y análisis de los datos obtenidos para columna de agua, sedimentos y macrofauna Submareal e intermareal de la franja costera del Golfo de Arauco. Así como también se realiza una propuesta de optimización con el objetivo de contar con un monitoreo ambiental de las matrices marinas que den cuenta de las fuentes de variación y aportes, que afectan la condición fisicoquímica del sistema.

Los resultados obtenidos permiten indicar, que los parámetros hidrográficos presentan una notoria estacionalidad, con una marcada estratificación en temperatura, con una termoclina entre 0 y 15 m, la que profundiza hasta los 20 m en enero 2022 y tiende a desaparecer en agosto 2022, con la presencia de aguas más frías asociadas a la descarga del río Biobío en la Zonas 1. La salinidad mostro menores concentraciones en superficie, principalmente en las estaciones de las Zonas 1 y 2, particularmente durante la campaña de agosto 2022. El oxígeno disuelto presento similares concentraciones entre estaciones de muestreo para las campañas de octubre de 2021 y enero 2022, con mayores concentraciones a profundidades inferiores a 5 m (> 8 mg/l), con una oxiclina entre 5 y 15 metros y valores menores a 2 mg/l en sobre los 20 m, en tanto que, durante agosto 2022, la columna de agua tiende a homogenizarse en niveles normalmente superiores a 5 mg/l para todas las zonas. Por otra parte, la clorofila-a mostro máximos durante octubre 2021 y enero 2022 (>30 mg/m³), particularmente en las Zonas 1 y 2, y en profundidades inferiores a 10 m, observándose durante enero de 2022 una menor productividad en las Zonas 3 y 4 que la observada en octubre 2021, mientras que agosto 2022, presento un contenido menor de clorofila-a (< 10 mg/m³) en todas las estaciones de muestreo, pero especialmente en las Zonas 1 y 2. La turbidez dio cuenta de máximos en superficie durante octubre 2021 en las Zonas 1 y 3 y en fondo durante agosto 2022, particularmente en estaciones de muestreo ubicadas en las Zonas 1, 2 y 4, probablemente como consecuencia de la resuspension de los sedimentos superficiales.

Los parámetros fisicoquímicos analizados en la columna de agua del submareal mostraron alta variabilidad, con una baja diferenciación espacial, destacando una mayor dispersión de los datos durante octubre 2021, seguida de enero 2022 y una menor dispersión en agosto 2022. Los sedimentos submareales mostraron diferencias espaciales marcadas y consistentes en las 3 campañas de muestreo con un dominio de arenas medias, finas y muy finas, en tanto que los resultados de los análisis químicos muestran mayor variabilidad en la zona 2, con mayores contenidos de hidrocarburos totales, carbono orgánico total, Pb, Hg, AOX y Cd. En tanto que, las concentraciones más bajas se registraron en la Zona 4, patrón consistente para las 3 campañas de monitoreo.

Los sedimentos estuarinos e intermareales presentaron una consistencia entre las granulometrías de las 3 campañas de muestreo, con dominio de arenas gruesas en las Zonas 1 y una mayor presencia de arenas finas en las estaciones de muestreo de la Zona 2, 3 y 4. La variabilidad de las concentraciones dan cuenta una diferenciación espacial más evidente que la

temporal, destacando las estaciones de muestreo 11 y 12 (Zona 2) con las mayores concentraciones de Pb, Hg, carbono orgánico total e hidrocarburos totales, mientras que en la estación 16 (Zona 3) se observan las como mayores concentraciones de AOX.

El análisis de las comunidades de la macrofauna submareal reveló que las abundancias de los grupos mayores estuvieron dominadas el Phylum Annelida, representado principalmente por la Clase Polychaeta con un rango porcentual entre el 77,37 % (Campaña 1) y 96,84 % (Campaña 3). Las abundancias promedio de la macrofauna bentónica total fueron muy heterogéneas en los tres períodos de muestreo para todas las Zonas. La Zona 2 en general presentó las mayores abundancias promedio totales y la Zona 4 las menores. Temporalmente el muestreo de agosto de 2022 (tercera campaña) presentó en general casi un orden de magnitud mayor en las abundancias totales respecto a los dos primeros, dando cuenta de importantes cambios de esta variable entre los diferentes muestreos.

Para la riqueza de especies, la Zona 3 presentó en general lo mayores valores y el tercer muestreo de agosto 2022 tuvo los más altos valores para este indicador comunitario. Respecto a los otros indicadores comunitarios de diversidad (Shannon-Wiener, Pielou y Simpson), ninguno presentó un patrón común espacial para las Zonas en estudio considerando las tres campañas de muestreo. Sólo el índice de Simpson presentó un gradiente descendiente desde la Zona 1 a la 4 en las dos últimas campañas.

El análisis de la macrofauna intermareal registro un total de 7 especies, dos isópodos *Excirrolana braziliensis* y *Excirrolana hirsuticauda*, un decápodo *Emerita analoga*, un anfípodo *Orchestoidea tuberculata* y una especie de insecto coleóptero *Phalerisida maculata*, y dos taxones de poliquetos, Spionidae y Opheliidae. Entre estas especies se destacan *Emerita analoga* y *Excirrolana hirsuticauda* como dominantes. *Emerita analoga* correspondió a la especie dominante en la campaña de primavera, mientras que *E. hirsuticauda* en las otras dos campañas.

En general, las zonas muestran una consistencia en sus atributos a través de las campañas evaluadas. Los valores de los índices ecológicos mostraron sus registros más altos en la zona centro Sur del Golfo (zonas 3 y 4) en todas las campañas. Los valores más bajos para todos los índices fueron estimados en la zona 1. Los valores de abundancia promedio fueron mayores en la zona 2 y 3, mientras que la zona 1 mostró los menores registros. La riqueza de especies fue mayor en las zonas 4 y 3 en todas las campañas. La abundancia relativa de las especies presentó diferencias a través de las zonas y tiempo. La mayor abundancia de *E. analoga* se registró en primavera en todas las zonas, pero en especial en la zona 2. En el resto de las campañas *E. hirsuticauda* corresponde a la especie dominante, con la excepción de la zona 1, donde no se registró su presencia en ninguna campaña. La presencia de gusanos poliquetos solo se registró en la campaña de verano en la zona 2 y 3. En general se observa una variación temporal en los ensambles de especies relacionado con las zonas de evaluación. La zona dos mostró cambios en su ensamble en primavera respecto al resto de las campañas, aparentemente dado por un fenómeno de reclutamiento en primavera. La intensidad de este fenómeno si bien se registró en el resto de las zonas, en estas fue de menor intensidad, no distinguiéndose diferencias estadísticas entre campañas.

Para las comunidades de fondos duros, en términos espaciales, mayor presencia de antozoos y crustáceos en la zona 2, y mayor presencia de poliplacóforos y gastrópodos en la zona 4 y temporalmente, la abundancia de gastrópodos y poliplacóforos se incrementó durante la campaña de agosto 2022, mientras que en octubre 2021 se registró mayor presencia de asteroideos y bivalvos. En tanto que las especies medidas en cobertura se observó una mayor

mezcla que la observada en el caso de las especies medidas en densidad, registrándose mayor presencia de poliquetos en la zona 4 y mayor presencia de ascidias, antozoos y bivalvos en la zona 2. Temporalmente, la diferenciación es más clara, observándose que la mayor presencia de antozoos y ascidias se produjo durante la campaña de agosto 2022, mientras que la mayor presencia de poliquetos fue observada en octubre 2021. Estos resultados indican que las comunidades de la macrofauna intermareal de fondos duros exhiben una alta variabilidad espacial y temporal, observándose la existencia de diferenciación estadísticamente significativa en la composición de especies agrupadas por Clases, lo que permite inferir una variabilidad importante en la estructura de estas comunidades dentro de los sitios de muestreo analizados.

Al analizar las tres campañas de monitoreo y sobre la base del análisis integrado de los componentes ambientales aquí evaluados, resaltan las siguientes conclusiones comunes que establecen una notoria variabilidad temporal de la calidad química en el caso de la columna de agua y mayor diferenciación espacial en el caso de los sedimentos, lo que lleva a proponer que las campañas de muestreo en columna de agua sea incrementando de 3 a 4 campañas al año, y en los sedimentos se sugiere realizar 2 campañas al año en condiciones climáticas contrastantes (invierno, verano).

Del análisis integral de la macrofauna bentónica se observó una alta heterogeneidad espacial y alta variabilidad temporal en las abundancias totales, con la ausencia de un patrón general espacial en la diversidad alfa, lo cual lleva a considerar adecuado proponer un incremento en la resolución temporal al menos a campañas trimestrales (verano, otoño, invierno, primavera), con un mínimo de 3 réplicas e incremento en el número de estaciones de la Zona 4, tratando de igualar el número de estaciones por cada Zona de muestreo.

En la macrofauna de playas destacó la potencial ocurrencia de fenómenos de reclutamiento de *Emerita* analoga en la zona 2 como principal área de reclutamiento, lo cual es una aparente inconsistencia con lo establecido en literatura acerca del fenómeno de reclutamiento de *Emerita* analoga, la cual se señala la ocurrencia natural de más de un evento de reclutamiento al año, primavera y verano. En consideración con estos resultados se sugiere realizar campañas de monitoreo trimestrales sobre una mayor extensión temporal con el objetivo de establecer la posible ocurrencia de un patrón espacio-temporal local para la especie dentro del Golfo de Arauco. En términos de la definición de zonas de evaluación, se registra una alta variabilidad espacial y temporal, por lo que se propone considerar un incremento en el número de sitios a evaluar de manera de estimar si las diferencias en abundancia estarían asociadas al esfuerzo de muestreo o sería consecuencia de factores locales.

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE).....	4
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
3.1 FRECUENCIA DE MONITOREO.....	8
3.2 PLAN DE MUESTREO.....	8
3.3 PERMISOS.....	9
3.4 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN AGUA Y SEDIMENTOS.....	9
3.4.1 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	9
3.4.2 MUESTREO DE AGUA DE MAR.....	12
3.4.3 MUESTREO DE SEDIMENTOS.....	13
3.4.3.1 Sedimentos marinos submareales.....	13
3.4.3.2 Sedimentos marinos intermareales y humedales.....	13
3.5 MUESTREO DE MACROFAUNA.....	14
3.5.1 SUBMAREAL.....	14
3.5.2 INTERMAREAL ARENOSO.....	15
3.5.3 INTERMAREAL ROCOSO.....	16
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	16
3.6.1 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	16
3.6.2 TRATAMIENTO DE LOS DATOS BAJO LOS LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN.....	17
3.6.3 BIODIVERSIDAD DE MACROFAUNA.....	18
3.6.4 ANÁLISIS INTEGRADO.....	19
3.6.5 PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN.....	20
4 RESULTADOS.....	22
4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA.....	22
4.1.1 CAMPAÑA OCTUBRE DE 2021.....	22
4.1.1.1 Ambiente Estuario.....	22
4.1.1.2 Ambiente Submareal.....	25
4.1.1.3 Ambiente intermareal.....	43
4.1.2 CAMPAÑA ENERO 2022.....	46
4.1.2.1 Ambiente Estuario.....	46
4.1.2.2 Ambiente Submareal.....	49
4.1.2.3 Ambiente intermareal.....	67
4.1.3 CAMPAÑA AGOSTO 2022.....	70
4.1.3.1 Ambiente Estuario.....	70
4.1.3.2 Ambiente Submareal.....	73
4.1.3.3 Ambiente intermareal.....	92
4.1.4 ANÁLISIS INTEGRADO.....	95
4.1.4.1 Hidrografía.....	95
4.1.4.2 Agua.....	102
4.1.4.3 Sedimentos submareales.....	104

4.1.4.4 Sedimentos del intermareal y estuarios	107
4.2 COMUNIDADES BIOLÓGICAS.....	111
4.2.1 SUBMAREAL.....	111
4.2.1.1 Campaña octubre 2021.....	111
4.2.1.2 Campaña enero 2022	120
4.2.1.3 Campaña agosto 2022.....	128
4.2.1.4 Análisis integrado.....	136
4.2.2 INTERMAREAL ARENOSO	151
4.2.2.1 Composición y riqueza de especies.....	151
4.2.2.2 Riqueza y abundancia de especies.....	153
4.2.2.3 Índices de diversidad	156
4.2.2.4 Análisis integrado.....	159
4.2.3 INTERMAREAL ROCOSO.....	165
4.2.3.1 Campaña octubre 2021.....	165
4.2.3.2 Campaña enero 2022	169
4.2.3.3 Campaña agosto 2022.....	172
4.2.3.4 Análisis integrado.....	177
4.3 PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN.....	180
4.3.1 ANÁLISIS QUÍMICOS EN AGUA Y SEDIMENTOS	180
4.3.2 COMUNIDADES DEL BENTOS SUBMAREAL	181
4.3.3 COMUNIDADES DEL INTERMAREAL ARENOSO	181
4.3.4 COMUNIDADES DEL INTERMAREAL ROCOSO.....	182
4.3.5 RESUMEN DE LAS PROPUESTAS.....	183
4.4 TALLERES	185
4.4.1 ACTA DE REUNIÓN, TALLER CONTRAPARTE TÉCNICA SSMA.....	185
4.4.1.1 Generales	185
4.4.1.2 Comentarios generales.....	186
4.4.1.3 Apuntes de la reunión	190
4.4.2 ACTA DE REUNIÓN, TALLER CRAS CORONEL.	194
4.4.2.1 Generales	194
4.4.2.2 Comentarios generales.....	195
4.4.2.3 Apuntes de la reunión.	199
5 Comparación con referencias.....	205
6 CONCLUSIONES.....	209
7 BIBLIOGRAFÍA.....	213
8 CARTA GANTT.....	219
9 ANEXOS	220

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Puntos de monitoreo para el ambiente submareal.....	5
Tabla 2. Puntos de monitoreo para el Humedal e Intermareal Arenoso.....	6
Tabla 3. Puntos de monitoreo para el Intermareal Rocoso.....	6
Tabla 4. Parámetros transversales y específicos por zona y matriz.....	10
Tabla 5. Parámetros, metodología y referencias utilizadas en el análisis de columna de agua.....	11
Tabla 6. Parámetros, metodología y referencias utilizadas en el análisis de sedimentos superficiales. ...	12
Tabla 7. Tipos de envases requeridos y modo de preservación de muestras de agua.....	13
Tabla 8. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para la caracterización de las concentraciones observadas en agua de la desembocadura del río Biobío. Campaña octubre 2021. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación.....	23
Tabla 9. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para la caracterización de las concentraciones observadas en sedimentos de la desembocadura del río Biobío. Campaña octubre 2021. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación.....	25
Tabla 10. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros hidrográficos medidos en las estaciones del submareal. Campaña octubre 2021. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.....	25
Tabla 11. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en columna de agua submareal. Campaña octubre 2021. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.....	35
Tabla 12. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos submareales. Campaña octubre 2021. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.....	41
Tabla 13. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos intermareales. Campaña octubre 2021. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.....	44
Tabla 15. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para la caracterización de las concentraciones observadas en sedimentos de la desembocadura del río Biobío. Campaña enero 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación.....	49

Tabla 16. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros hidrográficos medidos en las estaciones del submareal. Campaña enero 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad. 49

Tabla 17. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en columna de agua submareal. Campaña enero 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad. 59

Tabla 18. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos submareales. Campaña enero 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad. 65

Tabla 19. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos intermareales. Campaña enero 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad. 68

Tabla 20. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para la caracterización de las concentraciones observadas en agua de la desembocadura del río Biobío. Campaña agosto 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación. 71

Tabla 21. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para la caracterización de las concentraciones observadas en sedimentos de la desembocadura del río Biobío. Campaña agosto 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación. 73

Tabla 22. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros hidrográficos medidos en las estaciones del submareal. Campaña agosto 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad. 73

Tabla 23. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en columna de agua submareal. Campaña agosto 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad. 83

Tabla 24. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos submareales. Campaña agosto 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad. 89

Tabla 25. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos intermareales. Campaña agosto 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente

de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad. 93

Tabla 26. Análisis SIMPER señalando las especies/*taxa* más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Zona Bio-Bio, considerando las tres campañas de muestreo. 145

Tabla 27. Análisis SIMPER señalando las especies/*taxa* más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Zona 1, considerando las tres campañas de muestreo. 145

Tabla 28. Análisis SIMPER señalando las especies/*taxa* más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Zona 2, considerando las tres campañas de muestreo. 146

Tabla 29. Análisis SIMPER señalando las especies/*taxa* más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Zona 3, considerando las tres campañas de muestreo. 147

Tabla 30. Análisis SIMPER señalando las especies/*taxa* más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Zona 4, considerando las tres campañas de muestreo. 148

Tabla 31. Análisis SIMPER señalando las especies/*taxa* más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Campaña de primavera 2021, considerando todas las Zonas de muestreo. 148

Tabla 32. Análisis SIMPER señalando las especies/*taxa* más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Campaña de verano 2022, considerando todas las Zonas de muestreo. 149

Tabla 33. Análisis SIMPER señalando las especies/*taxa* más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Campaña de invierno 2022, considerando todas las Zonas de muestreo. 150

Tabla 34. Especies y abundancia total colectada en las diferentes zonas de estudio en la campaña de octubre 2021 (primavera), enero 2022 (verano) y julio 2022 (invierno). Entre paréntesis se indica el número de sitios de muestreo evaluados en cada zona. 151

Tabla 35. Composición de especies (ausencia – presencia) registrada en las diferentes zonas de estudio en las campañas de Primavera 2021, Verano 2022 e Invierno 2022. Los puntos indican el no registro de la especie en la zona. 160

Tabla 36. Resultados para la prueba de permutaciones de varianza para la interacción entre Zonas y Campañas realizadas. Se muestran también los resultados para las pruebas pareadas a posteriori para los contrastes entre campañas dentro de zonas. 163

Tabla 37. Concentraciones de AOX en aguas marinas obtenidas desde literatura 205

Tabla 38. Concentración de metales en aguas marinas en estudios realizados en Chile y en otras zonas del mundo. 207

Tabla 39. Concentración de metales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en sedimentos de superficiales en estudios realizados en Chile. 208

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de Estudio, indicando caletas pesqueras, zonas AAA y AMERB presentes dentro del Golfo de Arauco.....	2
Figura 2. Zonas y puntos de muestreo submareales (azul) e intermareales (naranja) en el Golfo de Arauco.....	7
Figura 3. Composición granulométrica observada por estación de muestreo en la desembocadura del río Biobío. Campaña octubre 2021. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Guijarro.....	24
Figura 4. Perfiles de CTDO de temperatura (°C) y salinidad (psu) por zona y estación de muestreo. Campaña octubre 2021.	26
Figura 5. Perfiles de CTDO de oxígeno disuelto (mg/l) y saturación de oxígeno (%) por zona y estación de muestreo. Campaña octubre 2021.	27
Figura 6. Perfiles de CTDO de turbidez (FTU) y clorofila-a (mg/m ³) por zona y estación de muestreo. Campaña octubre 2021.	28
Figura 7. Secciones hidrográficas de temperatura (°C) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).....	30
Figura 8. Secciones hidrográficas de salinidad (PSU) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).....	31
Figura 9. Secciones hidrográficas de oxígeno disuelto (mg/l) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).	32
Figura 10. Secciones hidrográficas de turbidez (FTU) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).....	33
Figura 11. Secciones hidrográficas de clorofila-a (mg m ⁻³) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).	34
Figura 12. Boxplots para las concentraciones observadas de metales As, Cd, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.....	36
Figura 13. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST); Oxígeno disuelto y Cloro Libre Residual por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.....	37

Figura 14. Boxplots para las concentraciones observadas de los nutrientes N-Nitrito, N-Nitrato, N-Amonio, Nitrógeno Total Kjeldahl, Nitrógeno disuelto y Nitrógeno total por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.	38
Figura 15. Boxplots para las concentraciones observadas de los nutrientes Fósforo disuelto, Fósforo total y Fosfatos por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.	39
Figura 16. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros orgánicos, índice de Fenol, AOX, Hidrocarburos totales y Carbono Orgánico Total por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.	40
Figura 17. Composición granulométrica promedio de sedimentos submareales por zona de muestreo. Campaña octubre 2021. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Guijarro.	41
Figura 18. Boxplots para las concentraciones observadas de los metales Al, As, Cd, Hg, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.	42
Figura 19. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros AOX, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.	43
Figura 20. Composición granulométrica promedio de sedimentos intermareales por zona de muestreo. Campaña octubre 2021. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Guijarro.	44
Figura 21. Boxplots para las concentraciones observadas de los metales Al, As, Cd, Hg, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.	45
Figura 22. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros AOX, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.	46
Figura 23. Composición granulométrica observada por estación de muestreo en la desembocadura del río Biobío. Campaña enero 2022. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Guijarro.	48
Figura 24. Perfiles de CTDO de temperatura (°C) y salinidad (psu) por zona y estación de muestreo. Campaña enero 2022.	50

Figura 25. Perfiles de CTDO de oxígeno disuelto (mg/l) y saturación de oxígeno (%) por zona y estación de muestreo. Campaña enero 2022.	51
Figura 26. Perfiles de CTDO de turbidez (FTU) y clorofila-a (mg/m ³) por zona y estación de muestreo. Campaña enero 2022.	52
Figura 27. Secciones hidrográficas de temperatura (°C) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).	54
Figura 28. Secciones hidrográficas de salinidad (PSU) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).	55
Figura 29. Secciones hidrográficas de oxígeno disuelto (mg/l) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).	56
Figura 30. Secciones hidrográficas de turbidez (FTU) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).	57
Figura 31. Secciones hidrográficas de clorofila-a (mg m ⁻³) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).	58
Figura 32. Boxplots para las concentraciones observadas de metales As, Cd, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.	60
Figura 33. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST); Oxígeno disuelto y Cloro Libre Residual por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.	61
Figura 34. Boxplots para las concentraciones observadas de los nutrientes N-Nitrito, N-Nitrato, N-Amonio, Nitrógeno Total Kjeldahl, Nitrógeno disuelto y Nitrógeno total por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.	62
Figura 35. Boxplots para las concentraciones observadas de los nutrientes Fósforo disuelto, Fósforo total y Fosfatos por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.	63
Figura 36. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros orgánicos, índice de Fenol, AOX, Hidrocarburos totales y Carbono Orgánico Total por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.	64

Figura 37. Composición granulométrica promedio de sedimentos submareales por zona de muestreo. Campaña enero 2022. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Guijarro.....	65
Figura 38. Boxplots para las concentraciones observadas de los metales Al, As, Cd, Hg, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.....	66
Figura 39. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros AOX, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.....	67
Figura 40. Composición granulométrica promedio de sedimentos intermareales por zona de muestreo. Campaña enero 2022. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Guijarro.....	68
Figura 41. Boxplots para las concentraciones observadas de los metales Al, As, Cd, Hg, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.....	69
Figura 42. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros AOX, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.....	70
Figura 43. Composición granulométrica observada por estación de muestreo en la desembocadura del río Biobío. Campaña agosto 2022. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Guijarro.....	72
Figura 44. Perfiles de CTDO de temperatura (°C) y salinidad (psu) por zona y estación de muestreo. Campaña agosto 2022.	74
Figura 45. Perfiles de CTDO de oxígeno disuelto (mg/l) y saturación de oxígeno (%) por zona y estación de muestreo. Campaña agosto 2022.	75
Figura 46. Perfiles de CTDO de turbidez (FTU) y clorofila-a (mg/m ³) por zona y estación de muestreo. Campaña agosto 2022.....	76
Figura 47. Secciones hidrográficas de temperatura (°C) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).	78
Figura 48. Secciones hidrográficas de salinidad (PSU) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).....	79

Figura 49. Secciones hidrográficas de oxígeno disuelto (mg/l) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).	80
Figura 50. Secciones hidrográficas de turbidez (FTU) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).....	81
Figura 51. Secciones hidrográficas de clorofila-a (mg m^{-3}) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).	82
Figura 52. Boxplots para las concentraciones observadas de metales As, Cd, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.	84
Figura 53. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST); Oxígeno disuelto y Cloro Libre Residual por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.....	85
Figura 54. Boxplots para las concentraciones observadas de los nutrientes N-Nitrito, N-Nitrato, N-Amonio, Nitrógeno Total Kjeldahl, Nitrógeno disuelto y Nitrógeno total por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.	86
Figura 55. Boxplots para las concentraciones observadas de los nutrientes Fósforo disuelto, Fósforo total y Fosfatos por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.	87
Figura 56. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros orgánicos, índice de Fenol, AOX, Hidrocarburos totales y Carbono Orgánico Total por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.	88
Figura 57. Composición granulométrica promedio de sedimentos submareales por zona de muestreo. Campaña agosto 2022. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Guijarro.	89
Figura 58. Boxplots para las concentraciones observadas de los metales Al, As, Cd, Hg, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.	90
Figura 59. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros AOX, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.	91

Figura 60. Composición granulométrica promedio de sedimentos intermareales por zona de muestreo. Campaña agosto 2022. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Guijarro.	92
Figura 61. Boxplots para las concentraciones observadas de los metales Al, As, Cd, Hg, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.	94
Figura 62. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros AOX, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.	95
Figura 63. Perfiles de temperatura (°C) por estación de muestreo, clasificados por zona y campaña.	97
Figura 64. Perfiles de salinidad (psu) por estación de muestreo, clasificados por zona y campaña.	98
Figura 65. Perfiles oxígeno disuelto (mg/l) por estación de muestreo, clasificados por zona y campaña.	99
Figura 66. Perfiles de clorofila (mg/m ³) por estación de muestreo, clasificados por zona y campaña.	100
Figura 67. Perfiles de turbidez (FTU) por estación de muestreo, clasificados por zona y campaña.	101
Figura 68. Resultado del análisis de componentes principales efectuado para los parámetros medidos transversalmente en la columna de agua en las 3 campañas de monitoreo. Puntajes numerados por estación de monitoreo y clasificados por Zona.	103
Figura 69. Resultado del análisis de componentes principales efectuado para los parámetros medidos transversalmente en la columna de agua en las 3 campañas de monitoreo. Puntajes numerados por estación de monitoreo y clasificados por Campaña.	104
Figura 70. Composición granulométrica de sedimentos del submareal por Estación, Zona y Campaña de monitoreo.	105
Figura 71. Resultado del análisis de componentes principales efectuado para los parámetros medidos transversalmente en sedimentos submareales en las 3 campañas de monitoreo. Puntajes numerados por estación de monitoreo y clasificados por Zona.	106
Figura 72. Resultado del análisis de componentes principales efectuado para los parámetros medidos transversalmente en sedimentos submareales en las 3 campañas de monitoreo. Puntajes numerados por estación de monitoreo y clasificados por Campaña.	107
Figura 73. Composición granulométrica de sedimentos del submareal por Estación, Zona y Campaña de monitoreo.	108

Figura 74. Resultado del análisis de componentes principales efectuado para los parámetros medidos transversalmente en sedimentos de estuario e intermareales para las 3 campañas de monitoreo. Puntajes numerados por estación de monitoreo y clasificados por Zona.	109
Figura 75. Resultado del análisis de componentes principales efectuado para los parámetros medidos transversalmente en sedimentos submareales en las 3 campañas de monitoreo. Puntajes numerados por estación de monitoreo y clasificados por Campaña.	110
Figura 76. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo dentro del Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada en este muestreo de octubre 2021.....	111
Figura 77. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona Biobío. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de octubre 2021.....	112
Figura 78. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 1. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de octubre 2021.....	113
Figura 79. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 2. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de octubre 2021.....	113
Figura 80. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 3. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de octubre 2021.....	114
Figura 81. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 4. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de octubre 2021.....	114
Figura 82. Abundancias totales promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo por Zona dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña octubre 2021.	115
Figura 83. Riqueza de especies/ <i>taxa</i> promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por Zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña octubre 2021.	116
Figura 84. Diversidad de Shannon-Wiener (H') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña octubre 2021.	117

Figura 85. Equidad de Pielou (J') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña octubre 2021.	118
Figura 86. Dominancia de Simpson (λ) promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña octubre 2021.	119
Figura 87. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo dentro del Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada en este muestreo de enero 2022.	120
Figura 88. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona Biobío. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de enero 2022.....	121
Figura 89. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 1. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de enero 2022.....	122
Figura 90. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 2. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de enero 2022.....	122
Figura 91. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 3. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de enero 2022.....	123
Figura 92. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 4. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de enero 2022.....	123
Figura 93. Abundancias totales promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo por Zona dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña enero 2022.	124
Figura 94. Riqueza de especies/taxa promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por Zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña enero 2022.	125
Figura 95. Diversidad de Shannon-Wiener (H') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña enero 2022.	126

Figura 96. Equidad de Pielou (J') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña enero 2022. 127

Figura 97. Dominancia de Simpson (J') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña enero 2022. 128

Figura 98. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo dentro del Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada en este muestreo de agosto 2022. 129

Figura 99. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona BioBio. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de agosto 2022. 130

Figura 100. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 1. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de agosto 2022. 130

Figura 101. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 2. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de agosto 2022. 131

Figura 102. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 3. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de agosto 2022. 131

Figura 103. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 4. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de agosto 2022. 132

Figura 104. Abundancias totales promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo por Zona dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña agosto 2022. 134

Figura 105. Riqueza de especies/*taxa* promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por Zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña agosto 2022. 134

Figura 106. Diversidad de Shannon-Wiener (H') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña agosto 2022. 135

Figura 107. Equidad de Pielou (J') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña agosto 2022.	135
Figura 108. Dominancia de Simpson (λ) promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña agosto 2022.	136
Figura 109. Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) para la campaña de octubre 2021.	138
Figura 110. Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) para la campaña de enero 2022.	139
Figura 111. Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) para la campaña de agosto 2022.	139
Figura 112. Análisis métrico de escalamiento multidimensionales <i>mMDS</i> para la campaña de octubre 2021.	140
Figura 113. Análisis métrico de escalamiento multidimensionales <i>mMDS</i> para la campaña de enero 2022.	140
Figura 114. Análisis métrico de escalamiento multidimensionales <i>mMDS</i> para la campaña de agosto 2022.	141
Figura 115. Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) incorporando las tres campañas de muestreo. Se destacan las campañas de muestreo.	142
Figura 116. Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) incorporando las tres campañas de muestreo. Se destacan las Zonas de muestreo.	143
Figura 117. Análisis métricos de escalamiento multidimensionales <i>mMDS</i> incorporando las tres campañas de muestreo. Se destacan las campañas de muestreo.	144
Figura 118. Análisis métricos de escalamiento multidimensionales <i>mMDS</i> incorporando las tres campañas de muestreo. Se destacan las Zonas de muestreo.	144
Figura 119. Abundancias relativas de las especies registradas considerando en forma agrupada todas las estaciones de muestreo dentro del Golfo de Arauco (A, B y C) y por zona (D, E y F), para las campañas de Primavera 2021 (octubre), Verano 2022 (enero) e Invierno 2022 (julio). La suma total de las áreas representa el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada en cada campaña. En la Figura F) la zona 1 corresponde al área roja ubicada en el extremo derecho superior.	153
Figura 120. Riqueza de especies/taxa promedio de la macrofauna intermareal de playas de arena estimada en las campañas de primavera 2021 (octubre), verano 2022 (enero) e invierno 2022 (julio) por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a un error estándar.	154

Figura 121. Abundancia promedio de la macrofauna intermareal de playas de arena estimada en las campañas de primavera 2021 (octubre), verano 2022 (enero) e invierno 2022 (julio) por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a un error estándar. 156

Figura 122. Diversidad de Shannon-Wiener (H') promedio de la macrofauna intermareal de playas de arena estimada en las campañas de primavera 2021 (octubre), verano 2022 (enero) e invierno 2022 (julio) por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a un error estándar. 157

Figura 123. Equidad de Pielou (J') promedio de la macrofauna intermareal de playas de arena estimada en las campañas de primavera 2021 (octubre), verano 2022 (enero) e invierno 2022 (julio) por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a un error estándar..... 158

Figura 124. Dominancia de Simpson (λ) promedio de la macrofauna intermareal de playas de arena estimada en las campañas de primavera 2021 (octubre), verano 2022 (enero) e invierno 2022 (julio) por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a un error estándar..... 159

Figura 126. Abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos detectados para comunidades de fondos duros medidas en abundancia (a) y en cobertura (b) para ambientes de fondos duros en Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el en cada caso el 100 % de las abundancias y coberturas identificadas en la Campaña octubre 2021. 165

Figura 126. Abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos detectados para comunidades de fondos duros medidas en abundancia (a) y en cobertura (b) para ambientes de fondos duros en Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el en cada caso el 100 % de las abundancias y coberturas identificadas en la Campaña octubre 2021. 166

Figura 128. Índices comunitarios promedio por zona para comunidades de fondos duros medidas en abundancia. Campaña octubre 2021. N: abundancia; S: riqueza de especie; H' : diversidad de Shannon-Wiener; J' : uniformidad de Pielou; λ : dominancia de Simpson. 167

Figura 129. Índices comunitarios promedio por zona para comunidades de fondos duros medidas en cobertura. Campaña octubre 2021. N: abundancia; S: riqueza de especie; H' : diversidad de Shannon-Wiener; J' : uniformidad de Pielou; λ : dominancia de Simpson. 168

Figura 130. Abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos detectados para comunidades de fondos duros medidas en abundancia (a) y en cobertura (b) para ambientes de fondos duros en Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el en cada caso el 100 % de las abundancias y coberturas identificadas en la Campaña enero 2022..... 169

Figura 131. Abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos detectados para comunidades de fondos duros medidas en abundancia (a) y en cobertura (b) para ambientes de fondos duros en Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el en cada caso el 100 % de las abundancias y coberturas identificadas en la Campaña enero 2022..... 170

Figura 132. Índices comunitarios promedio por zona para comunidades de fondos duros medidas en abundancia. Campaña enero 2022. N: abundancia; S: riqueza de especie; H' : diversidad de Shannon-Wiener; J' : uniformidad de Pielou; λ : dominancia de Simpson. 171

Figura 133. Índices comunitarios promedio por zona para comunidades de fondos duros medidas en cobertura. Campaña enero 2022. N: abundancia; S: riqueza de especie; H': diversidad de Shannon-Wiener; J': uniformidad de Pielou; λ : dominancia de Simpson.	172
Figura 134. Abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos detectados para comunidades de fondos duros medidas en abundancia (a) y en cobertura (b) para ambientes de fondos duros en Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el en cada caso el 100 % de las abundancias y coberturas identificadas en la Campaña agosto 2022.	173
Figura 135. Abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos detectados para comunidades de fondos duros medidas en abundancia (a) y en cobertura (b) para ambientes de fondos duros en Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el en cada caso el 100 % de las abundancias y coberturas identificadas en la Campaña agosto 2022.	174
Figura 136. Índices comunitarios promedio por zona para comunidades de fondos duros medidas en abundancia. Campaña enero 2022. N: abundancia; S: riqueza de especie; H': diversidad de Shannon-Wiener; J': uniformidad de Pielou; λ : dominancia de Simpson.	175
Figura 137. Índices comunitarios promedio por zona para comunidades de fondos duros medidas en cobertura. Campaña enero 2022. N: abundancia; S: riqueza de especie; H': diversidad de Shannon-Wiener; J': uniformidad de Pielou; λ : dominancia de Simpson.	176
Figura 138. Resultado del análisis NMDS para la composición de la macrofauna intermareal de fondos duros por sitio de muestreo. Especies medidas en densidad y analizadas por Clase taxonómica. a) puntajes clasificados por zona; b) puntajes clasificados por campaña.	178
Figura 139. Resultado del análisis NMDS para la composición de la macrofauna intermareal de fondos duros por sitio de muestreo. Especies medidas en cobertura y analizadas por Clase taxonómica. a) puntajes clasificados por zona; b) puntajes clasificados por campaña.	179
Figura 140. Mapa con Zonas y puntos de muestreo propuestos para el submareales (azul) e intermareales (naranja), en este mapa se incorporan para 5 estaciones para el submareal de la Zona 3 (IP-17 e IP-18) y Zona 4 (IP-20, IP-22 e IP-23), y 5 estaciones para el intermareal de la Zona 3 (S-16 y S-19) y Zona 4 (S-21, S-22 y S-25).	184
Figura 141. Captura de pantalla del taller con la contraparte técnica, 2 de diciembre de 2022.	187
Figura 142. Captura de pantalla del taller con la contraparte técnica, 2 de diciembre de 2022.	188
Figura 143. Captura de pantalla del taller con la contraparte técnica, 2 de diciembre de 2022.	189
Figura 144. Listado de asistentes a reunión, 5 de diciembre de 2022.	196
Figura 145. Mosaico fotográfico reunión PRAS, 5 de diciembre de 2022.	197
Figura 146. Mosaico fotográfico reunión PRAS, 5 de diciembre de 2022.	198

1 INTRODUCCIÓN

El Golfo de Arauco es una bahía que mira hacia el norte, con una línea de costa que se caracteriza por un marcado cambio en la orientación general de la línea de costa desde N-S a E-W. La presencia de la isla Santa María hacia el sector oeste de la boca divide la boca de la bahía en dos, una abertura principal dirigida hacia el norte (Boca Grande) que se extiende por casi 25 km en dirección E-W, una segunda abertura somera (Boca Chica) con intercambio de agua restringido con la plataforma continental adyacente al oeste (**Figura 1**). En general, la batimetría del Golfo es relativamente suave con isóbatas que siguen la línea de costa. Mientras que, hacia el sector norte, la presencia del cañón del Biobío modifica drásticamente la profundidad (Bernhardt *et al.*, 2015).

Desde el punto de vista biológico, el Golfo de Arauco es una zona altamente productiva, que es utilizada por especies comerciales y no comerciales para reproducirse durante primavera, principalmente en el quiebre de la plataforma continental adyacente al golfo, permitiendo que los estados tempranos de estos organismos ingresen subsuperficialmente al interior del golfo, donde son retenidos (Palma 1994, Landaeta y Castro 2002, Yannicelli *et al.*, 2006, Landaeta *et al.*, 2006). Así también lo indica la alta abundancia de huevos de peces que se han encontrado en esta zona (Bernal 2004, Cubillos *et al.*, 2003, 2005, Castro *et al.*, 2009). Estas características sustentan una diversa actividad pesquera en el Golfo de Arauco, siendo las caletas Lo Rojas y Lota Bajo el principal centro de la actividad pesquera artesanal, con una clara orientación hacia recursos pelágicos, tales como la sardina común, anchoveta y jibia, e importante también en cuanto al desembarque de invertebrados, donde caleta Tubul representa el principal centro de desembarque de la región, con más del 80% de los desembarques de moluscos de la región del Biobío y cerca del 10% de los desembarques nacionales de moluscos (Sernapesca, 2020). Finalmente, la actividad de recolección de algas es de gran importancia en la zona litoral del Golfo de Arauco, siendo la luga negra y el cochayuyo las especies principalmente explotadas en caletas como Maule, Lo Rojas y Punta Lavapié, como una actividad muy local. Adicionalmente, al interior del golfo existen más de 20 áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB), desde las cuales se extraen regularmente recursos como loco, huepo, erizo, lapa, luga negra y cochayuyo (**Figura 1**).

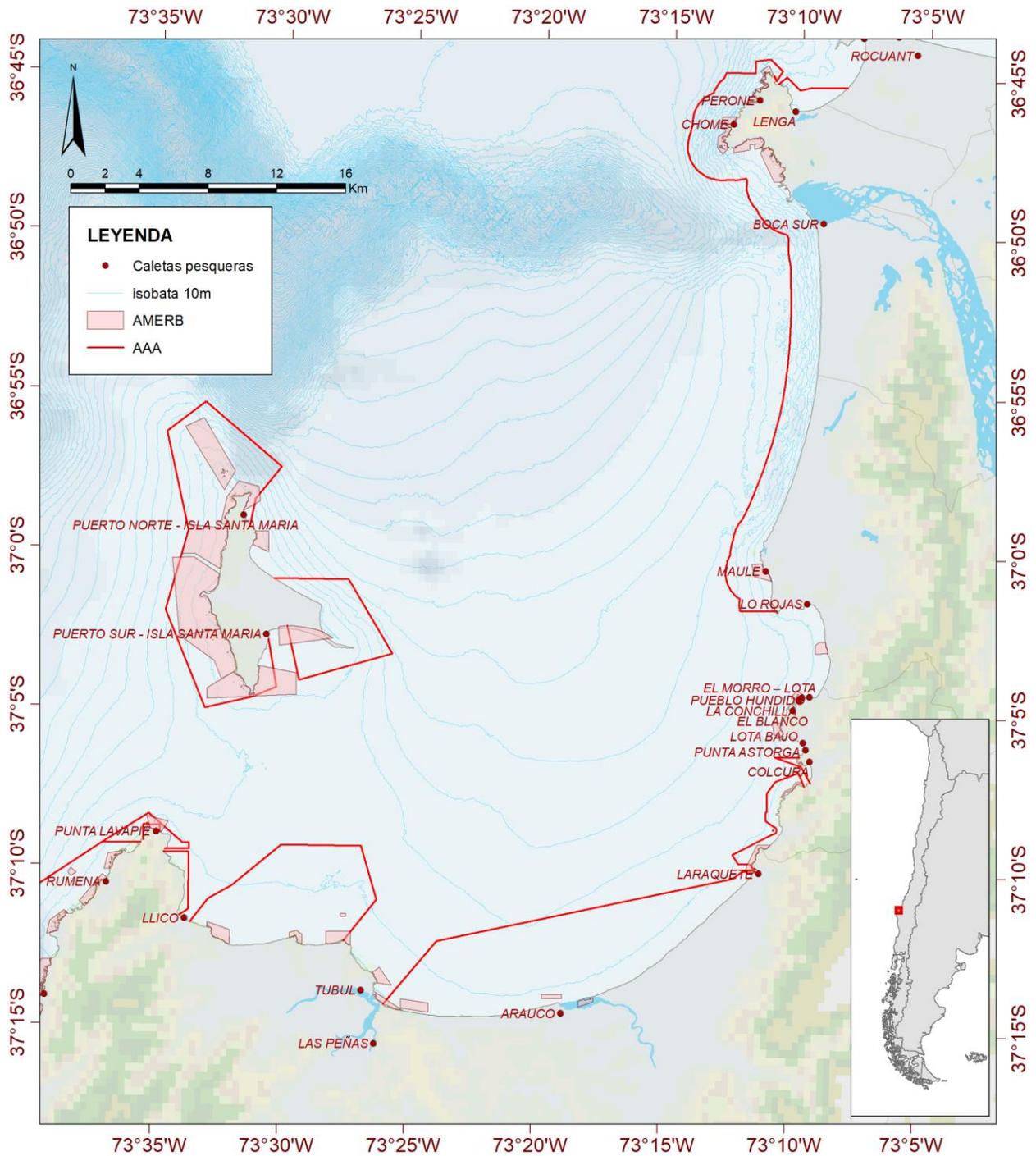


Figura 1. Área de Estudio, indicando caletas pesqueras, zonas AAA y AMERB presentes dentro del Golfo de Arauco.

La intensa actividad extractiva de los recursos biológicos presentes en el Golfo de Arauco ocurre simultáneamente con múltiples usos industriales, agrícolas, forestales y urbanos, lo que le otorga una especial complejidad a la zona. Al ser un área de alta riqueza de recursos hidrobiológicos, se concentran importantes caletas e infraestructura asociada a la pesca, convirtiéndose en un polo de actividad urbana e industrial. Debido a estas condiciones, la zona recibe un flujo constante de residuos que provienen de diversos emisarios industriales y domésticos situados en la costa, lo que afecta las condiciones ambientales de la zona, particularmente en las áreas más industrializadas dentro del Golfo de Arauco. Las Emisiones líquidas, sólidas y atmosféricas pueden producir cambios en las condiciones físicas (deposición de sedimentos) y/o químicas (aporte de nutrientes, metales, metaloides y compuestos orgánicos de diverso origen) que afecten la calidad de las aguas y sedimentos en un sistema de semi-cerrado como lo es el Golfo de Arauco, pudiendo generar alteraciones en los componentes físico, químicos y biológicos. En este contexto, el proceso de elaboración de una Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) adquiere enorme importancia, toda vez que, de acuerdo al PRAS elaborado para la comuna de Coronel, la percepción de la comunidad apunta a la necesidad de establecer una NSCA, y dada la influencia de la bahía de Coronel dentro del Golfo de Arauco, resulta conveniente el establecimiento de una NSCA para todo el Golfo de Arauco.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Desarrollar un monitoreo ambiental de los ecosistemas marinos y costeros del golfo de Arauco, de manera de recabar información para conocer el estado actual del golfo y que sirva de insumo para la elaboración de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas marinas y sedimentos del golfo de Arauco.

2.2 Objetivos específicos (OE)

OEa: Monitorear variables fisicoquímicas y biológicas de los ecosistemas marinos y costeros del golfo de Arauco, que den cuenta del estado trófico y de salud de los ecosistemas estudiados.

OEb: Optimizar el plan de monitoreo de la calidad ambiental del golfo de Arauco, en base a los resultados obtenidos.

OEc: Transferir el conocimiento de esta consultoría a los equipos profesionales del Ministerio del Medio Ambiente y al Consejo de Recuperación Ambiental y Social (CRAS) de Coronel.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

El plan de monitoreo contempla mediciones en 21 puntos submareales distribuidos en 4 zonas (**Tabla 1**), el intermareal arenoso de playa considerara el muestreo de 19 puntos en 4 zonas (**Tabla 2**), intermareal rocoso con muestreo en 7 puntos en 3 zonas (**Tabla 3**) y humedales costeros con 2 puntos de muestreo en la desembocadura del rio Biobío (**Tabla 2**), ver detalle en **Figura 2**.

Tabla 1. Puntos de monitoreo para el ambiente submareal.

Zona	Id	UTM-X	UTM-Y	Ambiente
1	29	660831,00	5915507,38	Submareal
	31	659430,59	5908669,24	Submareal
	32	659522,77	5925603,77	Submareal
	33	663701,21	5922141,79	Submareal
	34	663790,72	5913552,28	Submareal
	47	663781,00	5917504,85	Submareal
2	35	660431,00	5898846,89	Submareal
	36	663931,00	5896453,59	Submareal
	37	662155,74	5894562,00	Submareal
	38	662851,56	5892361,52	Submareal
	39	659299,85	5894062,00	Submareal
	48	662489,26	5898812,00	Submareal
3	49	659786,70	5902717,70	Submareal
	30	643799,12	5885700,41	Submareal
	40	661807,75	5889485,25	Submareal
	43	651470,48	5887756,41	Submareal
	45	656097,50	5882220,55	Submareal
4	46	655211,48	5889781,52	Submareal
	41	627563,03	5887939,27	Submareal
	44	635681,00	5884246,64	Submareal
	42	630355,20	5891507,19	Submareal

Tabla 2. Puntos de monitoreo para el Humedal e Intermareal Arenoso.

Zona	Id	UTM-X	UTM-Y	Ambiente
1	1	663721,09	5924697,39	Humedales
	2	664872,76	5923545,72	Humedales
	3	664652,69	5917023,50	Intermareal arenoso
	4	663827,39	5910808,39	Intermareal arenoso
	5	662922,00	5907743,99	Intermareal arenoso
	6	661851,50	5905210,00	Intermareal arenoso
	7	664541,42	5920901,58	Intermareal arenoso
2	8	661810,75	5901632,00	Intermareal arenoso
	9	664971,69	5898318,85	Intermareal arenoso
	10	664824,88	5896136,00	Intermareal arenoso
	11	663131,00	5894762,00	Intermareal arenoso
	12	663196,06	5892908,50	Intermareal arenoso
	13	664118,44	5891074,99	Intermareal arenoso
	14	664162,87	5900780,00	Intermareal arenoso
3	15	662095,94	5887226,50	Intermareal arenoso
	16	660295,75	5884674,00	Intermareal arenoso
	17	656873,07	5881492,51	Intermareal arenoso
	18	652445,43	5878466,00	Intermareal arenoso
4	19	640160,03	5877357,26	Intermareal arenoso
	20	632320,63	5881114,50	Intermareal arenoso
	21	627705,25	5882507,00	Intermareal arenoso

Tabla 3. Puntos de monitoreo para el Intermareal Rocoso

Zona	Id	UTM-X	UTM-Y	Ambiente
4	22	626683,35	5887399,28	Intermareal rocoso
	23	629174,58	5881995,56	Intermareal rocoso
	24	636816,69	5881285,56	Intermareal rocoso
3	25	660852,44	5885951,28	Intermareal rocoso
2	26	663239,62	5895435,06	Intermareal rocoso
	27	661921,92	5900625,58	Intermareal rocoso
	28	661421,54	5902724,60	Intermareal rocoso

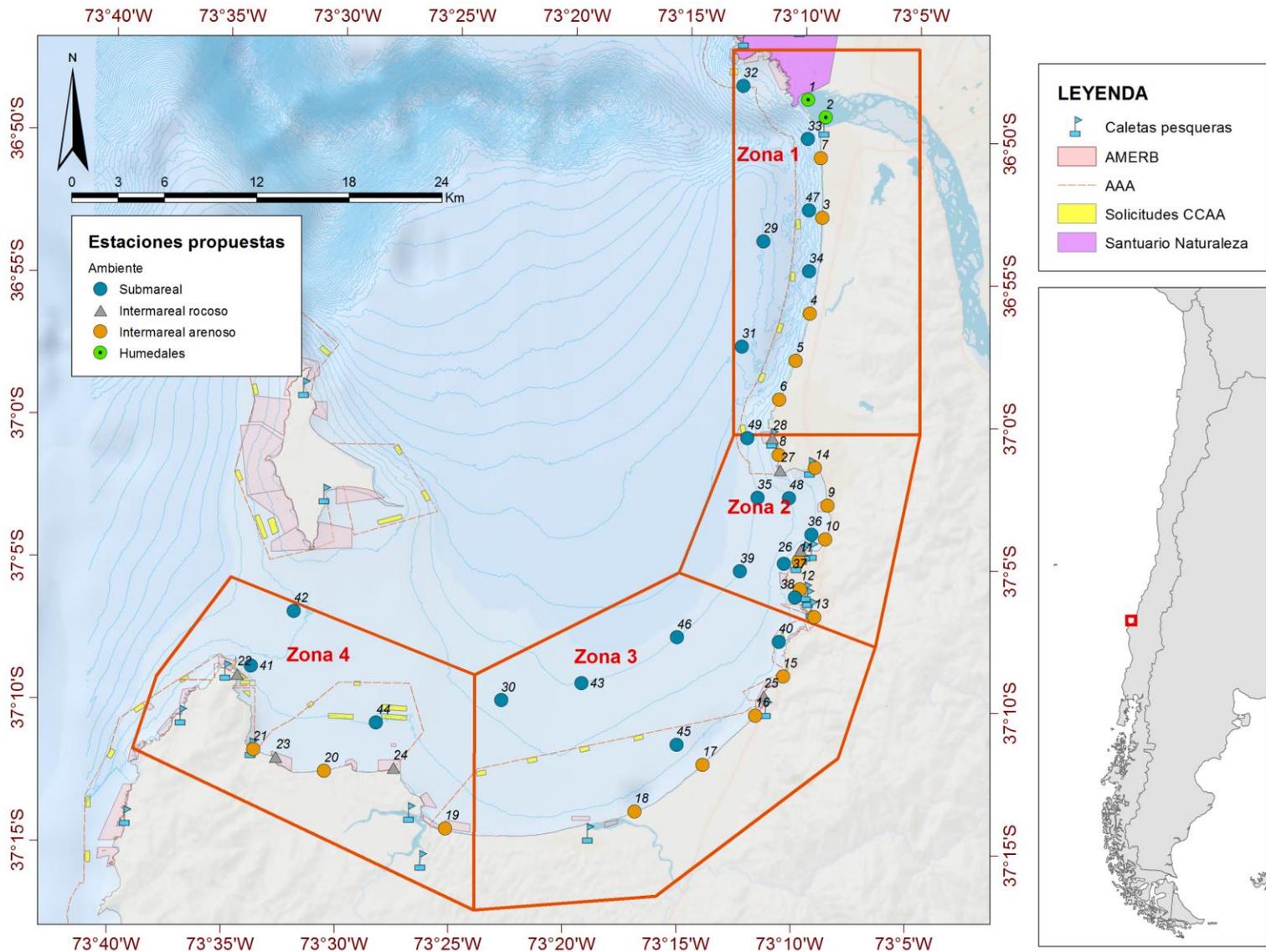


Figura 2. Zonas y puntos de muestreo submareales (azul) e intermareales (naranja) en el Golfo de Arauco.

3.1 Frecuencia de monitoreo

Este proyecto consideró la ejecución de tres campañas de muestreo, las que fueron programadas las estaciones de primavera (octubre 2021), verano (enero 2022) e invierno (julio-agosto 2022). Las actividades de terreno en el submareal fueron realizadas por muestreadores acreditados del laboratorio de Oceanografía Química de la Universidad de Concepción (LOQ-UdeC), a bordo de la embarcación Kay Kay II, de la misma Universidad. En tanto que los muestreos del ambiente intermareal, específicamente de comunidades, fueron realizados por el equipo de profesionales Holon SpA.

La primera campaña, efectuada en época de primavera, se llevó a cabo entre el 11 y el 15 de octubre de 2021, en condiciones de mar en calma, con olas de 0,25 a 0,5 m y cielo despejado con viento sur. La segunda campaña, correspondiente a época de verano, se realizó entre el 17 y el 21 de enero 2022, en condiciones de mar en calma, con olas de inferiores a 0,2 m, cielo despejado y viento sureste. En tanto que, la tercera campaña de invierno programada para ser efectuada durante la segunda quincena de julio de 2022, pero se realizó durante 1 y 5 de agosto dado que las condiciones climáticas condujeron al cierre de puertos y por lo tanto la reprogramación de estas actividades para los primeros días de agosto. Todos los análisis químicos y biológicos comprometidos han sido completamente ejecutados y todos los resultados son reportados en el presente informe.

3.2 Plan de Muestreo

El Laboratorio de Oceanografía Química de la Universidad de Concepción (LOQ-UdeC) en conjunto con el Centro de Investigación en Recursos Naturales HOLON SpA, realizaron las actividades en terreno para la obtención de muestras discretas en columna de agua submareal en dos profundidades (superficial y fondo), muestras superficiales sedimentos (2 a 3 cm) del ambiente submareal, intermareal y estuarino, y el muestreo biológico del bentos submareal e intermareal de fondo duro y arenoso. La recolección de estas muestras fue realizada por profesionales expertos, altamente calificados y de gran experiencia en la obtención de muestras ambientales para agua, sedimentos y biota del ambiente marino.

3.3 Permisos

Para ejecutar las actividades de muestreo se ha solicitado y otorgado el Permiso de Pesca de Investigación a la Universidad de Concepción, R. EX. N° E-2021-545 con fecha 28/09/2021, por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (**Anexo 1**), el cual permite obtener las muestras de la macrofauna bentónica de los ambientes submareal e intermareal. Así también se solicitó al Servicio hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) organismo estatal que resolvió en el ORDINARIO N° 13270/24/1322 con fecha 13/09/2021, autorizar a la Universidad de Concepción, para realizar Actividades de Investigación Tecnológica Marina en la Región del Biobío (**Anexo 2**). En tanto que el Centro de Investigación en Recursos Naturales HOLON SpA obtuvo las autorizaciones de trabajo científico e Ingreso de vehículo motorizado a playa a la Capitanía de Puerto de Lota, para realizar el muestreo en el ambiente intermareal de fondos arenoso y rocoso.

3.4 Análisis Físicoquímicos en Agua y Sedimentos

3.4.1 Parámetros Físicoquímicos

El monitoreo de parámetros físicoquímicos en la columna de agua y sedimentos superficiales contempla parámetros transversales, que deben ser medidos en todas las zonas definidas, así como parámetros específicos para cada zona. Los parámetros transversales y específicos que serán analizados en la presente propuesta corresponden a los mismos, planteados en las bases de licitación y que se detallan en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Parámetros transversales y específicos por zona y matriz.

Zona	Columna de agua	Sedimentos
	Perfil Clorofila a	Granulometría
	Turbiedad	Carbono orgánico total
	Temperatura	Potencial redox
	Salinidad	Cadmio Extraíbles
	Oxígeno disuelto	Plomo Extraíbles
	pH	Mercurio Total
	Hidrocarburos totales (C10-C38)*	AOX
	Carbono orgánico total	Hidrocarburos totales*
Todas	AOX	
	Nitrógeno total (NTK+NO ₂ +NO ₃)	
	Nitrógeno disuelto (NH ⁴ +NO ₂ +NO ₃)	
	Fósforo total y disuelto	
	Índice de fenol	
	Cadmio Total	
	Plomo Total	
	Mercurio Total	
	Sólidos suspendidos totales	
1	Aluminio Disuelto	Aluminio Extraíble
	Detergentes (SAAM)	
	Aluminio Total	Aluminio Extraíble
	Arsénico Total	Arsénico Extraíble
2	Vanadio Total	Vanadio Extraíble
	Cloro libre residual	
	Detergentes (SAAM)	
3	Clorofenol	EOX
4	-	-

*Perfil de las cadenas hidrocarbonadas

En las **Tablas 5 y 6** se entregan las referencias y metodologías de laboratorio utilizadas para la determinación de las concentraciones de los parámetros analizados.

Tabla 5. Parámetros, metodología y referencias utilizadas en el análisis de columna de agua.

Parámetro	LC	Unidades	Metodología	Referencia Bibliográfica
HCT (C10-C38)	0,013	µg L ⁻¹	GC-MS	Método validado: EPA Method 8270 D.
TOC	0,50	mg L ⁻¹	Combustión Catalítica	Método validado: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 5310 B.
AOX	4,00	µg L ⁻¹	Microcoulombimetría	Método validado: ISO 9562:2004 (E).
Nitrógeno Disuelto	0,50	mg L ⁻¹	Espectroscopia UV/VIS; Potenciometría	Basado en: Jones, M.N. (1984) // Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984) // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 4500-Norg B. Macro-Kjeldahl Method.
Nitrógeno Total	0,50	mg L ⁻¹	Espectroscopia UV/VIS; Potenciometría	Basado en: Jones, M.N. (1984) // Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984) // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 4500-Norg B. Macro-Kjeldahl Method.
Fósforo Disuelto	0,50	µM	Espectroscopia UV/VIS	Método validado: Solórzano, L., & Sharp, J. (1980). Limnol. Oceanogr., 25(4), 754-758.
Fósforo Total	0,50	µM	Espectroscopia UV/VIS	Método validado: Solórzano, L., & Sharp, J. (1980). Limnol. Oceanogr., 25(4), 754-758.
Índice de Fenol	0,0010	mg L ⁻¹	Espectroscopia UV/VIS	Método validado: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 5530 C.
SST	1,0	mg L ⁻¹	Gravimetría	Método validado: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 2540 D.
Cadmio disuelto	0,015	µg L ⁻¹	ICP-MS	Método validado: Grasshoff K., Kremling K. And Ehrhardt M. (1999) // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Plomo disuelto	0,015	µg L ⁻¹	ICP-MS	Método validado: Grasshoff K., Kremling K. And Ehrhardt M. (1999) // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Mercurio disuelto	0,50	µg L ⁻¹	DMA	Método validado: EPA Method 7473.
Salinidad	0,001	PSU	CTD-O	Resolución Exenta N° 3612 de 2009, numeral 30, de la Subsecretaría de Pesca.
Temperatura	0,1	°C	CTD-O	Resolución Exenta N° 3612 de 2009, numeral 30, de la Subsecretaría de Pesca.
Oxígeno disuelto	0,1	mg L ⁻¹	CTD-O	Resolución Exenta N° 3612 de 2009, numeral 30, de la Subsecretaría de Pesca.
Turbidez	0,1	NTU	CTD-O	Resolución Exenta N° 3612 de 2009, numeral 30, de la Subsecretaría de Pesca.
Clorofila a	0,01	mg m ⁻³	Sensor Fluorometría	Método 445.0 EPA (1997) APHA, 2017. 10200 H. Standard Methods 23th Edition
pH	0,01	Unidades pH	Potenciometría	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 4500-H+.
Aluminio disuelto	0,70	µg L ⁻¹	ICP-MS	Método validado: Grasshoff K., Kremling K. And Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Arsénico disuelto	0,30	µg L ⁻¹	HGAAS	Método validado: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3114.
Vanadio disuelto	0,03	µg L ⁻¹	ICP-MS	Método validado: Grasshoff K., Kremling K. And Ehrhardt M. 1999 // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Cloro Libre Residual	0,02	mg L ⁻¹	Colorimetría	Basado en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 4500-Cl-G.
SAAM	0,004	mg L ⁻¹	Espectroscopia UV/VIS	Basado en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 5540 C.
Clorofenol	0,006	µg L ⁻¹	GC-MS	Método validado: EPA Method 8270 D.

Tabla 6. Parámetros, metodología y referencias utilizadas en el análisis de sedimentos superficiales.

Parámetro	LC	Unidades	Metodología	Referencia Bibliográfica
Granulometría	1	%	Gravimetría	Resolución Exenta N° 3612 de 2009, numeral 26, de la Subsecretaría de Pesca.
TOC	***	***	Análisis Elemental (CHN)	Método validado: Vector. CHN/O Analyzer. User Manual. Tekmar-Dohrmann.
Potencial Rédox	0,1	mV	Potenciometría	Resolución Exenta N° 3612 de 2009, numeral 29, de la Subsecretaría de Pesca.
Cadmio extraíble	0,015	µg g ⁻¹	ICP-MS	Método validado: EPA Method 3051 A. // B. Spence. 2004. The Determination of Metals in Environmental Samples Using the X Series ICP-MS.
Plomo extraíble	0,015	µg g ⁻¹	ICP-MS	Método validado: EPA Method 3051 A. // B. Spence. 2004. The Determination of Metals in Environmental Samples Using the X Series ICP-MS.
Mercurio total	0,0002	µg g ⁻¹	DMA	Método validado: EPA Method 7473.
AOX	7,00	µg g ⁻¹	Microcoulombimetría	Método validado: Accredited Qual Assur. 12:647-651. DOI:10.1007/s00769-007-0308-z.
HCT (C10-C38) *	0,012	µg g ⁻¹	GC-MS	Método validado: EPA Method 8270 D.
Aluminio extraíble	60,0	µg g ⁻¹	FAAS	Método validado: EPA Method 3051 A. // Silva, N., Haro, J. & Prego, R. (2009). Estuarine, Coastal and Shelf Science. 82. 469 – 476.
Arsénico extraíble	1,5	µg g ⁻¹	HGAAS	Método validado: EPA Method 3052 // Zhang, Y., & Adelojou, S., 2008. Talanta, 76, 724-730.
Vanadio extraíble	50,00	µg g ⁻¹	FAAS	Método validado: EPA Method 3051 A. // Silva, N., Haro, J. & Prego, R. (2009). Estuarine, Coastal and Shelf Science. 82. 469 – 476.
EOX	1,00	µg g ⁻¹	Microcoulombimetría	Método validado: EPA Method 9023 / Extractable Organic Halides (EOX) in Solids.

3.4.2 Muestreo de agua de mar

Las muestras de columna de agua destinadas a los análisis químicos fueron obtenidas desde la embarcación Kay Kay II de la Universidad de Concepción, utilizando botellas oceanográficas Go-flo y cabo de Kevlar desde el huinche lateral de la embarcación, este se realizó a dos profundidades, *i.e.*, superficie (máximo 1 m) y fondo a 2 m de la máxima profundidad de la estación. En las estaciones de humedal, las muestras fueron obtenidas directamente desde la botella de muestreo. Las botellas ámbar y envases de polipropileno utilizados fueron previamente descontaminados bajo un riguroso proceso de lavado, las cuales fueron guardadas en bolsas plásticas hasta su uso, cada una de las muestras colectadas fue identificada con estación, fecha, profundidad, preservante y análisis a realizar, cuidando no retirar las bolsas por completo, para luego volver a cerrar cada una de las bolsas, cada 10 muestras se recolecto un duplicado para control de calidad. La manipulación de muestras se realizó en todo momento con guantes de látex libres de talco y mascarilla. Los envases con las muestras fueron fijados para su conservación de acuerdo con el tipo de análisis, según lo especificado en la **Tabla 7**, en frío y oscuridad, en contenedores tipo “Cooler” llenos de material refrigerante (hielo en escama).

Tabla 7. Tipos de envases requeridos y modo de preservación de muestras de agua.

Analito	Preservación	Envase
Metales	Refrigeración	Polipropileno
Metales (Hg)	Refrigeración	Vidrio
Nutrientes	Refrigeración	Polietileno
Nitrógeno Total	Refrigeración-Acidificación	Polietileno
pH (medición <i>in situ</i>)	NR	NR
Fósforo Total (PT)	Refrigeración-Acidificación	Vidrio
Halógenos Orgánicos Absorbibles (AOX)	Acidificación	Vidrio Ámbar
Aceite y Grasas (AyG)	Acidificación	Vidrio Ámbar
Carbono Orgánico Total (TOC)	Refrigeración-Acidificación	Vidrio
Hidrocarburos Totales (HCT)	Refrigeración	Vidrio Ámbar
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Refrigeración	Polietileno
Índice de fenol (IF)	Refrigeración	Vidrio Ámbar
Clorofila a y total	Refrigeración	Vidrio Ámbar
Cloro Libre Residual	Refrigeración	Vidrio
Clorofenol	Refrigeración	Vidrio Ámbar
SAAM	Refrigeración	Polietileno

Refrigeración: 4°C.

NR: No requiere.

Acidificación: llevar a pH 1-2 (con HNO₃, HSO₄ y/o HCl, según corresponda).

3.4.3 Muestreo de sedimentos

3.4.3.1 Sedimentos marinos submareales

Este muestreo fue realizado desde la embarcación empleando una Draga Van Veen, utilizando el equipamiento dispuesto en la embarcación oceanográfica Kay II de la Universidad de Concepción (*i.e.*, Huinches, patecas con contámetro, cabos y poleas). Para la extracción de las muestras se realizó un submuestreo desde la draga, sobre la capa superficial de los sedimentos (2 a 3 primeros centímetros) con la ayuda de una saca testigo o corer cilíndrico de plexiglás para los parámetros inorgánicos y corer de acero inoxidable para los parámetros orgánicos. Posteriormente, las muestras obtenidas fueron introducidas en una en bolsa estéril previamente rotulada con la identificación de la muestra, fecha y análisis.

3.4.3.2 Sedimentos marinos intermareales y humedales

El muestreo se realizó de forma directa sobre el punto de muestreo, extrayendo los 3 primeros centímetros con la ayuda de una saca testigo o corer cilíndrico de plexiglás para parámetros

inorgánicos y corer de acero inoxidable para parámetros orgánicos. Una vez obtenidas las muestras, estas fueron introducidas en bolsas estériles previamente rotulada con la identificación de la muestra, fecha y hora de muestreo.

En el caso de las muestras tomadas en humedal, el procedimiento de muestreo considero el uso de una draga de mano, que será operada desde la rivera del rio, para luego mediante una paleta de teflón, obtener los primeros 3 cm de sedimento, los cuales fueron guardados en una bolsa estéril previamente rotulada con la identificación de la muestra, fecha y análisis a realizar.

3.5 Muestreo de macrofauna

3.5.1 Submareal

Las muestras de macrofauna bentónica (**Figura 2**), fueron obtenidas por medio de una draga van Veen de área de mascada de 0,1 m², considerando 2 lances por punto de muestreo. El proceso de lance considera la apertura de la draga y posterior bajada de manera lenta y continua (~0,5 m/s), con el fin de reducir la onda de choque con el fondo y, en consecuencia, el riesgo de perder material. Una vez en el fondo, se acciona la palanca para generar el cierre de las mandíbulas de la draga.

Las muestras obtenidas fueron revisadas y descartadas cuando se registró alguna de las siguientes condiciones:

- La draga no llego completamente cerrada a la superficie
- Se observan evidencias de una mordida irregular
- Se observa pérdida de sedimento durante la elevación de la draga
- Se observa evidencia de lavado y/o perturbación de la superficie de la muestra

Una vez obtenidas las muestras, el contenido fue depositado en un contenedor y lavado con agua de mar a través de un tamiz de 1000 µm de apertura de malla. El agua se aplicó dejándola caer sobre el tamiz, pero sin aplicar fuerza adicional. Una vez, realizado el tamizado inicial, se procede a eliminar piedras y partículas de mayor tamaño. Posteriormente, se procede a vaciar el contenido sobre el tamiz de 500 µm de abertura de malla, de manera de separar la macrofauna del sedimento.

Finalizado el tamizado, el material retenido fue almacenado en bolsas plásticas rotuladas, indicando: fecha de muestreo, hora de muestreo, sitio de muestreo, estación y número de réplica. El material será fijado con alcohol al 96%, procurando enraizar la muestra con un volumen aproximado de 400 ml de alcohol. Una vez fijadas, se procederá a agitar suavemente la muestra, para que el alcohol penetre en el sedimento y logre fijar los organismos. Las muestras rotuladas se almacenarán en una caja hermética para su envío al laboratorio.

En laboratorio, el análisis consiste en identificar los organismos al nivel taxonómico más bajo posible, utilizando claves de identificación específica (Rozbacylo 1980; Rozbacylo 2007; Rozbacylo *et al.*, 2017). Para cada taxa identificado, se estimará la abundancia (expresada en ind/m²), utilizando una lupa estereoscópica marca ICOE modelo ZT45B, y la biomasa (expresada en g/m²), utilizando una balanza analítica Radwag, modelo AS 220.R2 de 0,0001 g de precisión.

3.5.2 *Intermareal arenoso*

Para cada punto de muestreo del intermareal (**Figura 2**) se obtuvieron 2 transectos perpendiculares a la línea de costa, separados a una distancia aproximada de 100 m. Los transectos se extenderán entre la línea de marea más alta hasta el límite de la marea baja. En cada transecto se colectarán 6 muestras (2 en el nivel superior, 2 en nivel medio y 2 en el espejo de agua), utilizando un corer de 11 cm de diámetro, el cual será enterrado hasta penetrar los primeros 20 cm de arena.

Las muestras colectadas fueron tamizadas en la orilla de la playa, utilizando un tamiz de 1000 µm de apertura de malla. Los organismos retenidos en el tamiz serán almacenados en frascos rotulados, indicando: fecha de muestreo, hora de muestreo, sitio de muestreo, estación o Waypoint y número de réplica. El material fue fijado con alcohol al 96%, procurando enraizar la muestra con un volumen aproximado de 400 ml de alcohol. Una vez fijadas, se procederá a agitar suavemente la muestra, para que el alcohol penetre en el sedimento y logre fijar los organismos. Las muestras rotuladas se almacenarán en una caja hermética para su envío al laboratorio.

En el laboratorio se identificaron los organismos al nivel taxonómico más bajo posible, utilizando claves de identificación específica (Rozbacylo, 1980; Rozbacylo, 2007; Rozbacylo *et al.*, 2017). Para cada taxa identificado, se estimó la abundancia (expresada en ind/m²), utilizando una lupa estereoscópica marca Kern Optics, modelo OZL 463.

3.5.3 *Intermareal rocoso*

En cada estación de monitoreo (**Figura 2**), se realizaron 2 transectos paralelos a la línea de la costa que recorrerán aproximadamente 20 metros las zonas de intermareal Alto, Medio y Bajo sobre los cuales se realizó el registro fotográfico de 6 cuadrantes de 0,25 m² (2 en nivel superior, 2 en nivel medio y 2 en nivel inferior) para estimar la cobertura de los organismos sésiles de difícil recuento (e.g. chorito maico, cirripedios, algas) y el conteo de los organismos móviles y sésiles contabilizables (e.g. caracoles, chitones, estrellas, etc.). Adicionalmente, se recorrió la zona aledaña a las estaciones haciendo un reconocimiento visual por acumulación de las especies identificadas en 6 caminatas de 3 minutos cada una.

3.6 **Análisis estadísticos**

3.6.1 *Parámetros físico-químicos*

Para el presente informe de avance, los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio para las matrices agua y sedimentos en cada campaña, se presentan a la forma de tablas de resumen para el total de estaciones de muestreo, las que incluyen estadígrafos de tendencia central y dispersión, además de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks. Para el caso de la hidrografía se entregan perfiles por subzona y estación y un análisis basado en gráficos de secciones que consideró 2 transectas: la primera constituida por las estaciones más costeras (transecta 1) y la segunda por las estaciones ubicadas en una segunda línea, con profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

Para el análisis de los parámetros de laboratorio, se generaron gráficos Boxplots por parámetro y zona, los que incluyen los valores mínimo y máximo observados para la campaña y los percentiles 5% y 95%. De esta forma, es posible apreciar el rango de cada variable y el comportamiento de cada zona en atención a este rango. En el caso específico de sedimentos, el análisis se complementa con un análisis de la composición de las fracciones granulométricas por zona de muestreo.

El análisis de la información colectada a la fecha se realizó mediante una aproximación descriptiva. Una vez que se incluya la información proveniente de la campaña de invierno, permitirá ejecutar los análisis estadísticos de contraste espacio-temporales apropiados al objetivo del estudio.

Todos los análisis fueron efectuados en el programa estadístico R (R Core Team, 2022) utilizando las librerías *pastecs* (Grosjean & Ibanez, 2018) *ggplot2* (Wickham, 2016), *cowplot* (Wilke *et al.*, 2019) y *ggpubr* (Kassambara, 2020).

3.6.2 *Tratamiento de los datos bajo los límites de cuantificación*

Para efectos de los análisis presentados, todos los parámetros de laboratorio cuya medición arrojó 100% de valores bajo el límite de cuantificación de cada una de las técnicas analíticas utilizadas, fueron descartados de los análisis presentados en este informe. Esto, dado que un parámetro que muestre el 100% de los datos bajo el límite de detección carece de relevancia estadística (no posee variabilidad) y se desconoce el valor de su concentración real y sólo se sabe que el valor se encuentra entre cero y el límite de detección (EPA, 2000¹).

En cuanto al tratamiento de los datos bajos los límites de detección/cuantificación, no existen procedimientos generales que sean aplicables para todos los casos. De acuerdo con EPA (2000), cuando existen cantidades pequeñas por debajo de los valores límite de detección (<15%), puede reemplazarse los no detectados con un número pequeño y proceder con el análisis habitual. Para cantidades moderadas de datos por debajo del límite de detección (15% - 50%), es apropiado un ajuste más detallado, mientras que cuando existen cantidades relativamente grandes de datos por debajo del límite de detección (<50% - 90%), es posible que sólo sea necesario considerar si la sustancia química se detectó por encima de algún nivel o no. La interpretación de cantidades pequeñas, moderadas y grandes de datos por debajo del DL es subjetiva, y depende entre otros factores de la cantidad de muestras. Si bien, EPA (2000) propone algunos métodos para el análisis de datos bajo los límites de detección, éstos en general requieren que los datos (sin considerar los no detectados) se distribuyan normalmente y el límite de detección sea siempre el mismo, lo que, como será demostrado en la sección de resultados, normalmente no ocurre en el caso de las variables fisicoquímicas. Finalmente, si la proporción de datos por sobre el límite de detección es muy alta (superior al 50%), poco se puede hacer estadísticamente, excepto centrarse en algún cuantil superior de la distribución de contaminantes, o en alguna proporción de mediciones por encima de cierto nivel crítico que está en o por encima del límite.

¹ Environmental Protection Agency. Guidance for Data Quality Assessment. Practical Methods for Data Analysis. EPA QA/G-9. QA00 UPDATE. July 2000.

En síntesis, y dado que no existen reglas generales, para efectos del presente estudio, los valores bajo el límite de cuantificación son reemplazados por el valor del límite de cuantificación, que corresponde al valor máximo que podría tener la muestra analizada. El considerar el valor del límite de cuantificación, o el valor máximo que podría alcanzar la muestra, es una medida precautoria si lo que se requiere es generar una norma secundaria de calidad ambiental para aguas marinas y sedimentos.

3.6.3 Biodiversidad de macrofauna

La información colectada en cada campaña fue analizada en términos de realizar una descripción general de los principales componentes taxonómicos detectados en cada tipo de muestreo (submareal, intermareal de playas e intermareal rocoso). A partir de la información generada se estimó la composición taxonómica por zona y los siguientes parámetros comunitarios: abundancia de individuos (densidad de individuos por área, N), riqueza de especies o número de especies presentes en la muestra (S), además de los índices ecológicos de diversidad de Shannon (H'), de dominancia de Simpson (λ) y uniformidad de Pielou (J') según:

Índice de diversidad de Shannon-Wiener (Pielou 1966):

$$H' = \sum p_i \log p_i$$

donde, p_i es la abundancia proporcional de la especie i .

Índice de Dominancia de Simpson (Simpson, 1949):

$$\lambda = 1 - D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde S es el número total de especies, n_i número de individuos de la especie i y N es el número de individuos totales.

Índice de uniformidad de Pielou (J')

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)}$$

donde, H' índice de Shannon y S riqueza de especies.

Para cada zona se estimó el valor promedio y el error estándar de los diferentes descriptores del ensamble antes descritos. La evaluación de la información colectada en esta campaña se realizó

mediante una aproximación cualitativa y descriptiva. Con la inclusión de información proveniente de las nuevas campañas de monitoreo se incorporarán al estudio análisis univariados y multivariados apropiados al objetivo del estudio.

Todos los análisis fueron efectuados en el programa estadístico R (R Core Team, 2022) utilizando las librerías *ggplot2* (Wickham, 2016), *vegan* (Oksanen *et al.*, 2014), *cowplot* (Wilke *et al.*, 2019) y *ggpubr* (Kassambara, 2020).

3.6.4 *Análisis integrado*

Con la finalidad de detectar estadísticamente la existencia patrones espacio-temporales en las variables y parámetros analizados de manera conjunta, se recurrió al uso de pruebas estadísticas multivariadas. En el caso de las variables físico-químicas se utilizó como prueba multivariada el análisis de componentes principales (PCA), mientras que, en el caso del análisis de la macrofauna, se utilizó una combinación de análisis de coordenadas principales (PCO) y escalamiento no-métrico multidimensional (NMDS).

El PCA corresponde a una prueba multivariada que persigue reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos conformado por objetos (*i.e.* sitios) y variables (*i.e.* parámetros) y retener la mayor proporción de la variabilidad, generando un nuevo set de variables denominadas componentes principales (Jolliffe, 2002), los que son una combinación lineal de las variables originales, ortogonales e independientes entre sí (no correlacionados). Una de las principales ventajas del ACP, es que entrega una medida de la varianza que explica cada una de las componentes multivariadas (valores propios), además del grado de correlación o covarianza que existe entre cada una de las variables de entrada y la componente multivariada resultante (Cayuela, 2011).

El PCO (también conocido como escalamiento multidimensional clásico) posee similitudes con el PCA en cuanto a la formulación matemática, pero presenta diferencias en cuanto a su motivación. Mientras que el PCA normalmente busca describir las relaciones entre un conjunto de objetos y un conjunto de variables, el PCO se orienta a determinar la similitud entre los objetos con base en el análisis de distancias, las que pueden ser seleccionadas por el investigador, reduciendo la dimensionalidad de la data al tiempo que conserva la información sobre las relaciones entre objetos (Legendre & Legendre, 1998).

El NMDS también permite visualizar el nivel de similitud de un conjunto de datos, traduciendo información sobre distancias a un espacio cartesiano (Mead, 1992). A diferencia del PCO, el NMDS busca encontrar una relación monotónica, no-lineal y no-paramétrica, entre los datos, las distancias y la ubicación de cada elemento en el espacio multidimensional resultante. Esta relación minimiza el índice llamado *stress*, métrica que representa el grado en que las distancias del espacio dimensional se corresponden con las distancias multivariadas reales en la base de datos. Clarke & Ainsworth (1993) sugieren que un *stress* entre 0,15 y 0,2 es aceptable, siendo ideal un valor inferior a 0,1.

Para evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre Zonas y Campañas en las ordenaciones multivariadas (PCA, PCO, NMDS), se utilizó Análisis de Varianza Permutacional Multivariado (PERMANOVA), técnica que permite probar la respuesta simultánea de una o más variables, a uno o más factores en un diseño experimental ANOVA sobre la base de cualquier medida de distancia, utilizando métodos de permutación no paramétricos (Anderson, 2001).

Los análisis multivariados fueron efectuados en R (R Core Team, 2022) utilizando las librerías *vegan* (Oksanen *et al.*, 2014) y *ggplot2* (Wickham, 2016).

3.6.5 Propuesta de optimización

A partir del análisis crítico de la información levantada durante las 3 campañas realizadas en el marco de este proyecto, se proponen los elementos necesarios para la construcción de un diseño optimizado para el monitoreo del Golfo de Arauco. Este nuevo diseño se basa en el análisis integrado de los resultados obtenidos, y está asociado con la identificación de tendencias estadísticas espaciales (estaciones de muestreo, zonas de muestreo) y temporales (diferencias entre campañas de monitoreo). Para la elaboración de la propuesta de optimización se consideró:

- a. Parámetros con valores bajo los límites de detección: Se evaluó la posibilidad de descartar aquellos parámetros que presenten una alta proporción de datos bajo los límites de detección de las técnicas analíticas empleadas (>90%) y que no sean considerados parámetros clave en algún tipo de industria.

- b. Estaciones de muestreo: Se evaluó la variabilidad espacio-temporal de las estaciones de muestreo, con la finalidad de detectar aquellas que entreguen información similar y que se encuentren en la misma zona de muestreo.

- c. Frecuencia de muestreo: Se contrastó los niveles obtenidos entre campañas de muestreo, con la finalidad de determinar la existencia de patrones similares entre campañas. Este análisis consideró además el análisis de la variabilidad de los procesos oceanográficos que ocurren en el Golfo de Arauco, con la finalidad de proponer una frecuencia óptima de muestreo.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterización Físicoquímica

4.1.1 Campaña octubre de 2021

4.1.1.1 Ambiente Estuario

4.1.1.1.1 Agua

En la **Tabla 8** se entrega la estadística descriptiva para las muestras de agua en la zona estuarina, indicando los límites mínimo y máximo para las concentraciones observadas de cada parámetro en las 2 estaciones de muestreo dispuestas en la desembocadura del río Biobío. Los metales Cd, Hg y Pb, los detergentes, además de los nutrientes nitrógeno total y fósforo disuelto mostraron el 100% de los datos bajo los límites de cuantificación de laboratorio (destacados en gris). Destaca la alta variabilidad observada en la concentración de nutrientes, principalmente amonio y nitrógeno disuelto ($cv > 90\%$). En este caso, dado el bajo número de observaciones ($N=2$), no fue factible la estimación de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks.

Tabla 8. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para la caracterización de las concentraciones observadas en agua de la desembocadura del río Biobío. Campaña octubre 2021. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%
Aluminio	(µg/l)	2	97,1700	129,8600	113,52	113,5150	23,1153	20%
Cadmio	(µg/l)	2	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0000	0%
Mercurio	(µg/l)	2	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,0000	0%
Plomo	(µg/l)	2	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0000	0%
pH	(-)	2	7,3897	7,7025	7,5461	7,5461	0,2212	3%
Sólidos Suspendidos Totales	(mg/l)	2	3,7000	3,8000	3,7500	3,7500	0,0707	2%
Detergentes	(mg/l)	2	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0000	0%
Oxígeno disuelto	(mg/l)	2	9,5379	11,9613	10,7496	10,7496	1,7136	16%
N-Nitrito	(mg/l)	2	0,0140	0,0360	0,0250	0,0250	0,0156	62%
N-Nitrato	(mg/l)	2	0,1230	0,1750	0,1490	0,1490	0,0368	25%
N-Amonio	(mg/l)	2	0,0720	0,8790	0,4755	0,4755	0,5706	120%
Nitrógeno Kjeldahl	(mg/l)	2	0,5200	0,5500	0,5350	0,5350	0,0212	4%
Nitrógeno disuelto	(mg/l)	2	0,2310	1,0680	0,6495	0,6495	0,5918	91%
Nitrógeno total	(mg/l)	2	0,7090	0,7090	0,7090	0,7090	0,0000	0%
Fósforo disuelto	(mg/l)	2	0,0700	0,0700	0,0700	0,0700	0,0000	0%
Fósforo total	(mg/l)	2	0,0700	0,1080	0,0890	0,0890	0,0269	30%
Fosfatos	(mg/l)	2	0,0310	0,0870	0,0590	0,0590	0,0396	67%
Índice de Fenol	(mg/l)	2	0,0010	0,0020	0,0015	0,0015	0,0007	47%
AOX	(µg/l)	2	14,1600	38,6400	26,4000	26,4000	17,3100	66%
Hidrocarburos Totales	(µg/l)	2	0,5170	0,8680	0,6925	0,6925	0,2482	36%
Carbono Orgánico Total	(mg/l)	2	1,4100	1,7400	1,5750	1,5750	0,2333	15%

4.1.1.1.2 Sedimentos

Los sedimentos de la zona de la desembocadura mostraron una composición granulométrica dominada por arenas finas y medias, con una mayor proporción de arenas muy finas y fango en la Estación 2 (**Figura 3**).

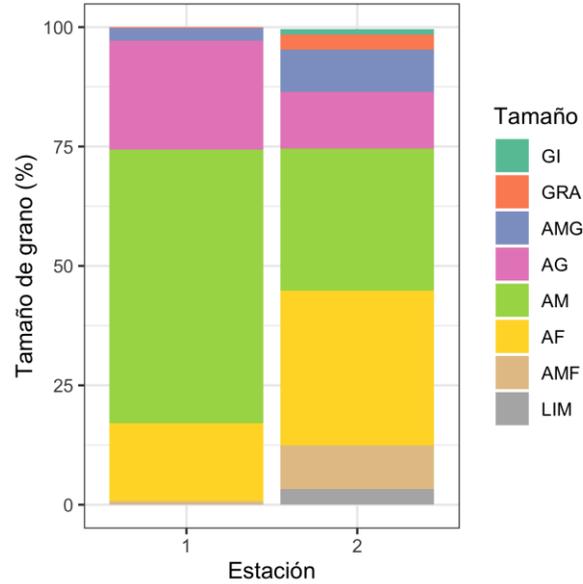


Figura 3. Composición granulométrica observada por estación de muestreo en la desembocadura del río Biobío. Campaña octubre 2021. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Gujjarro.

En la **Tabla 9** se entrega la estadística descriptiva para las muestras de sedimentos en la zona estuarina para las concentraciones observadas de cada parámetro medido en las 2 estaciones de muestreo dispuestas en la desembocadura del río Biobío. En este caso, destaca la alta variabilidad observada en la concentración de Cd, Hg, Pb y carbono orgánico total ($cv > 80\%$). Similar a lo observado en las muestras de agua, dado el bajo número de observaciones ($N=2$), no fue factible la estimación de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks.

Tabla 9. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para la caracterización de las concentraciones observadas en sedimentos de la desembocadura del río Biobío. Campaña octubre 2021. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%
Aluminio	(µg/g)	2	31583	41510	36546	36546	7019	19%
Cadmio	(µg/g)	2	0,021	0,081	0,051	0,051	0,042	83%
Mercurio	(µg/g)	2	0,002	0,025	0,013	0,013	0,016	117%
Plomo	(µg/g)	2	2,598	12,695	7,647	7,647	7,140	93%
AOX	(µg/g)	2	58,44	80,43	69,44	69,44	15,55	22%
Carbono Orgánico Total	(%)	2	0,040	1,170	0,605	0,605	0,799	132%
Hidrocarburos Totales	(µg/g)	2	2,614	3,379	2,997	2,997	0,541	18%
Potencial Redox	(mV)	2	160,20	217,90	189,05	189,05	40,80	22%

4.1.1.2 Ambiente Submareal

4.1.1.2.1 Hidrografía

En la **Tabla 10** se entrega la estadística descriptiva para el total de observaciones hidrográficas en la campaña de octubre de 2021. Destaca en este caso, que ninguna de las variables analizadas muestra distribución normal ($\text{normtest.p} < 0,05$), además de la alta variabilidad observada en el caso de los parámetros oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, turbidez y clorofila a ($\text{cv} > 70\%$).

Tabla 10. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros hidrográficos medidos en las estaciones del submareal. Campaña octubre 2021. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%	normtest.W	normtest.p
Temperatura	(°C)	475	10,43	13,97	11,35	11,64	0,97	8%	0,8905	0,0000
Salinidad	(psu)	475	22,29	34,30	33,57	33,01	1,63	5%	0,6683	0,0000
Oxígeno disuelto	(ml/l)	475	0,03	15,04	5,85	6,06	4,61	76%	0,8993	0,0000
Saturación oxígeno	(%)	475	0,28	171,97	64,88	68,03	52,10	77%	0,9001	0,0000
Turbidez	(FTU)	475	0,01	41,92	1,35	1,77	2,50	141%	0,3947	0,0000
Clorofila a	(mg m ⁻³)	452	0,46	43,74	9,46	12,27	10,92	89%	0,8935	0,0000

El análisis de los perfiles verticales para cada parámetro por estación y zona (**Figuras 4 a 6**) revela una marca estratificación en temperatura, con una termoclina entre 5 y 10 metros para todas las zonas y estaciones, destacando además la alta variabilidad de la salinidad en superficie,

especialmente en la Zona 1, donde es posible apreciar la influencia del río Biobío en las estaciones 32, 33 y 47 (**Figura 4**). El oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno muestran comportamientos similares (**Figura 5**), con una oxiclina entre 5 y 15 m, observándose en términos generales concentraciones bajo los 6 mg/l bajo los 15 m de profundidad y una mayor variabilidad en superficie, particularmente en la Zona 2, donde la estación 39 (frente a Lota) mostró la mayor oxigenación en superficie. Los parámetros turbidez y clorofila-a mostraron una alta variabilidad, especialmente en el caso de la turbidez, que mostró un peak de 40 FTU en la Zona 1 (**Figura 6**). La clorofila muestra, como patrón general, un incremento alrededor de los 5 metros de profundidad, con una disminución hacia los 15 metros en todas las zonas.

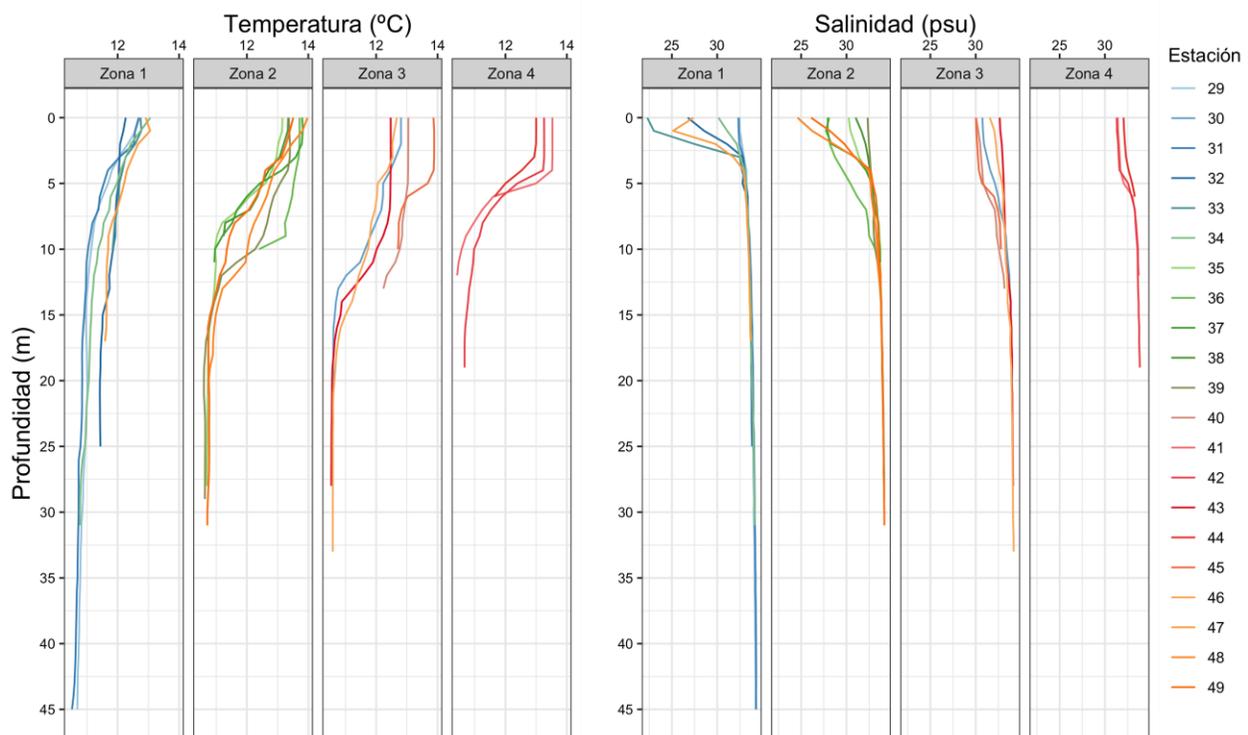


Figura 4. Perfiles de CTDO de temperatura (°C) y salinidad (psu) por zona y estación de muestreo. Campaña octubre 2021.

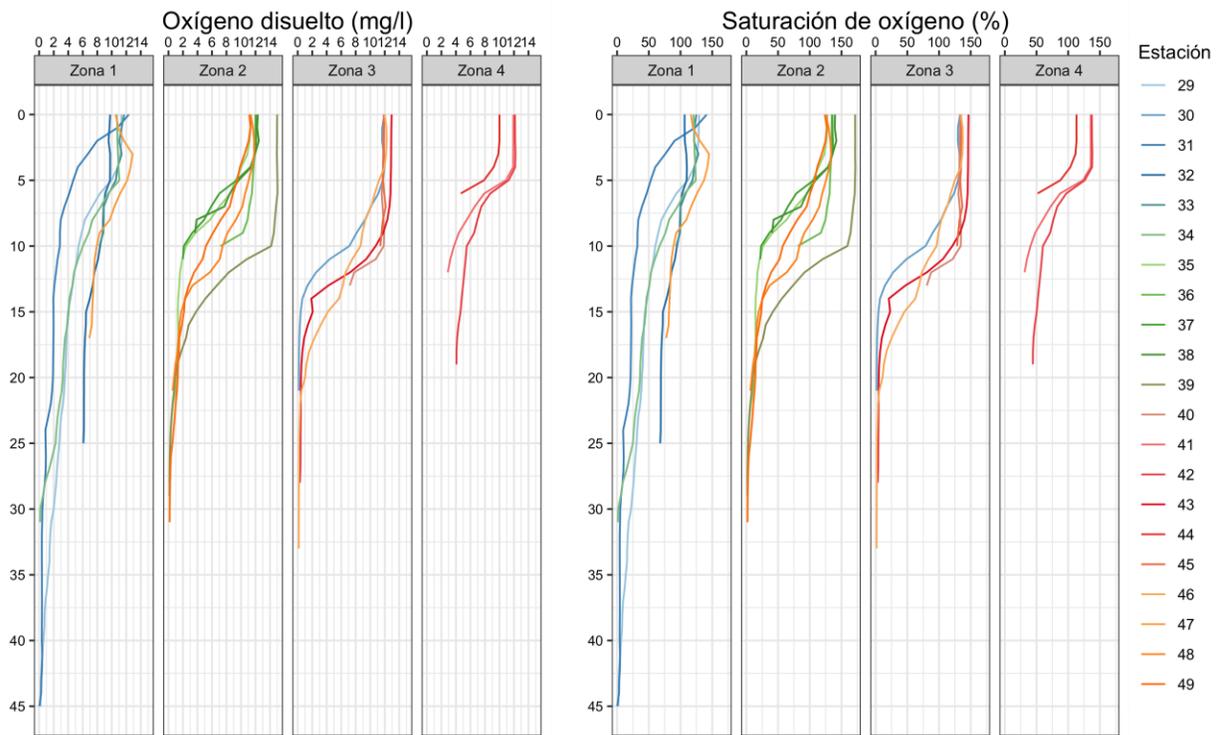


Figura 5. Perfiles de CTDO de oxígeno disuelto (mg/l) y saturación de oxígeno (%) por zona y estación de muestreo. Campaña octubre 2021.

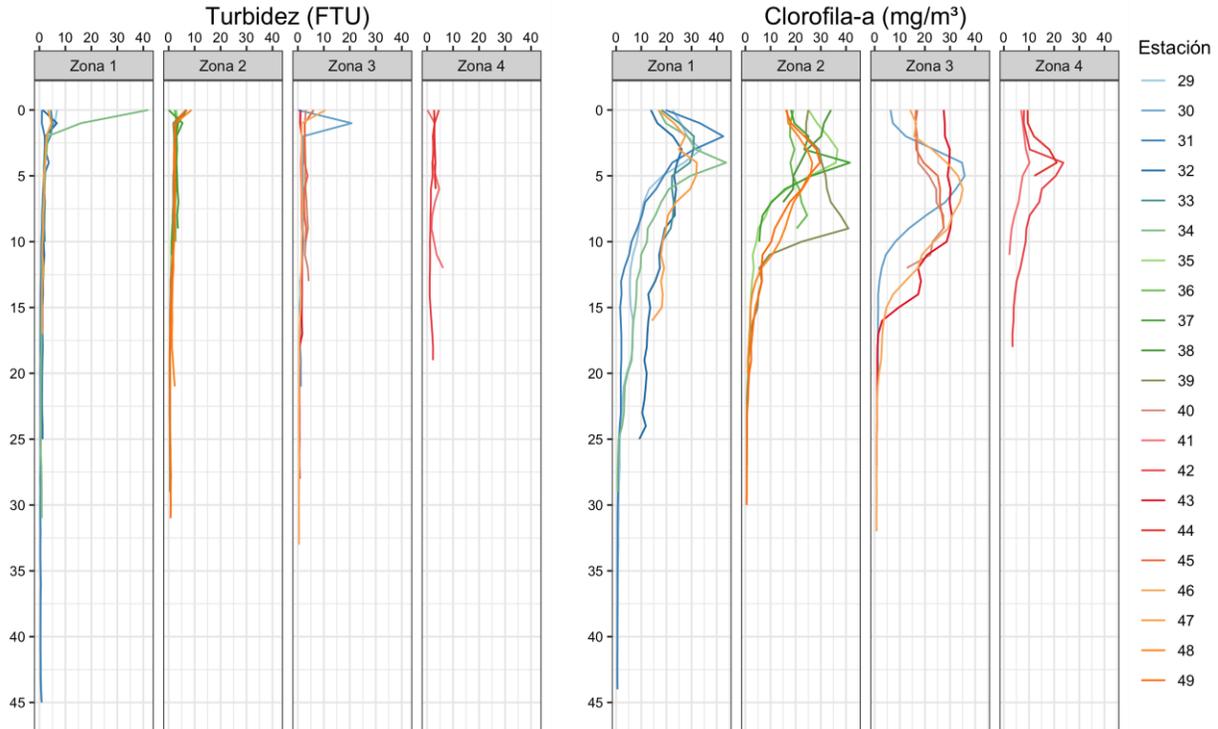


Figura 6. Perfiles de CTDO de turbidez (FTU) y clorofila-a (mg/m^3) por zona y estación de muestreo. Campaña octubre 2021.

En las **Figuras 7 a 11** se entrega un análisis del comportamiento hidrográfico de la columna de agua basado en gráficos de secciones que consideraron 2 transectas: la primera constituida por las estaciones más costeras (transecta 1) y la segunda por las estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2). El resultado de este análisis permitió observar que la temperatura presentó una alta variabilidad a lo largo de la columna de agua, oscilando entre 10 y 14°C. Los primeros 10 metros de profundidad mostraron temperaturas más cálidas, entre 12,2 y 14 °C. Sin embargo, este patrón fue más notorio a lo largo de la transecta 1 (**Figura 7a**). Bajo los 10 metros de profundidad, la columna de agua registró temperaturas más frías, con valores que fluctuaron entre 10,8 y 12 °C.

La salinidad presentó una alta estratificación a lo largo de la columna de agua, con niveles que oscilaron entre 22 y 35 PSU. La salinidad superficial mostró diferencias entre transectas, registrando una capa menos salina a lo largo de la transecta 1 (**Figura 8a**) que se extiende hasta los 5 metros de profundidad, con valores entre 25 y 30 PSU. Esta condición fue observada

principalmente en la zona 1 (estaciones 33-47-34), por lo cual estaría asociada con intrusiones de agua dulce provenientes del río Biobío.

Ambas transectas mostraron una columna de agua bien oxigenada, oscilando entre 2 y 14 mg/l, con concentraciones superiores a 14 mg/l en los primeros 10 metros de profundidad, principalmente en las Zonas 1 y 3 para la transecta 1 (sectores Escuadrón y Laraquete, **Figura 9a**) y en la Zona 2 para la transecta 2 (sector Lota, **Figura 9b**).

La turbidez presentó valores que oscilaron principalmente entre 1 y 7 FTU, siendo levemente mayores a lo largo de la transecta 1 (**Figura 10a**). A nivel superficial se observaron núcleos con niveles de turbidez notoriamente altos, superando los 30 FTU, principalmente en la Zona 1 (sector Escuadrón, **Figura 10a**) y en la Zona 3 (sector playa de Arauco, **Figura 10b**).

La clorofila-a mostró una alta variabilidad, con rangos entre 15 y 42 mg m⁻³ en superficie y entre 1 y 8 mg m⁻³ en el fondo. Superficialmente, ambas transectas presentaron altos valores de clorofila-a, observándose núcleos de máxima concentración en los primeros 5 metros de profundidad para la transecta 1 (**Figura 11a**) y hasta los 10 metros de profundidad en la transecta 2 (**Figura 11b**).

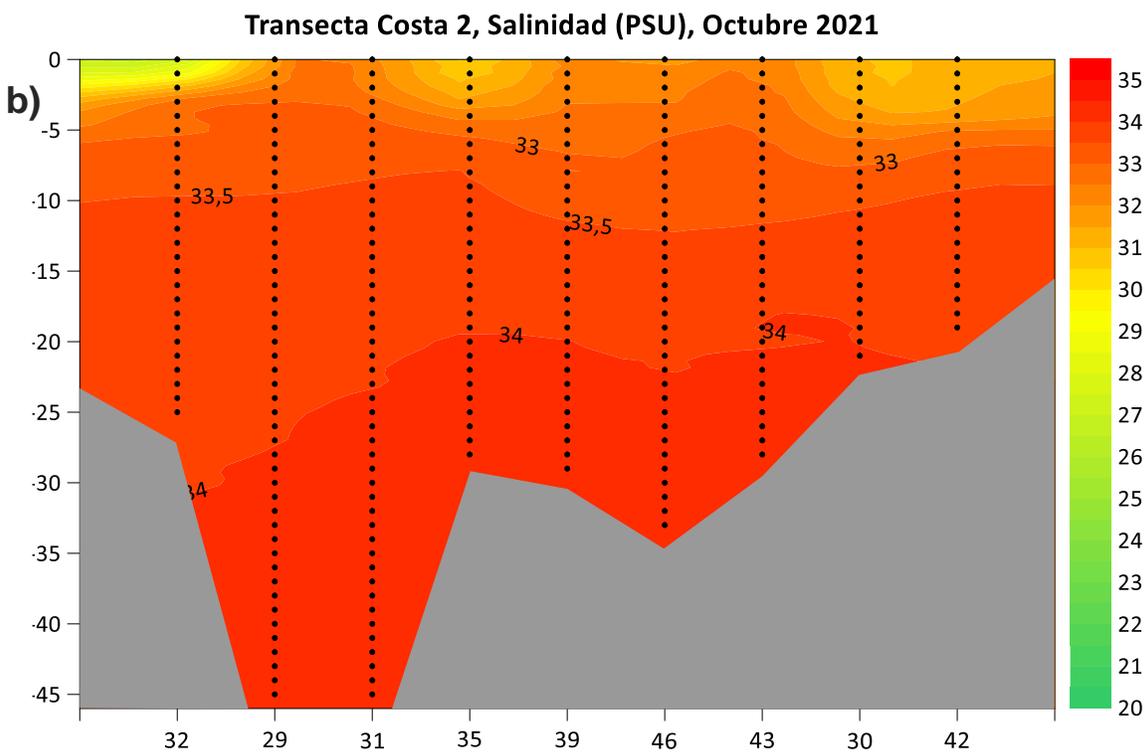
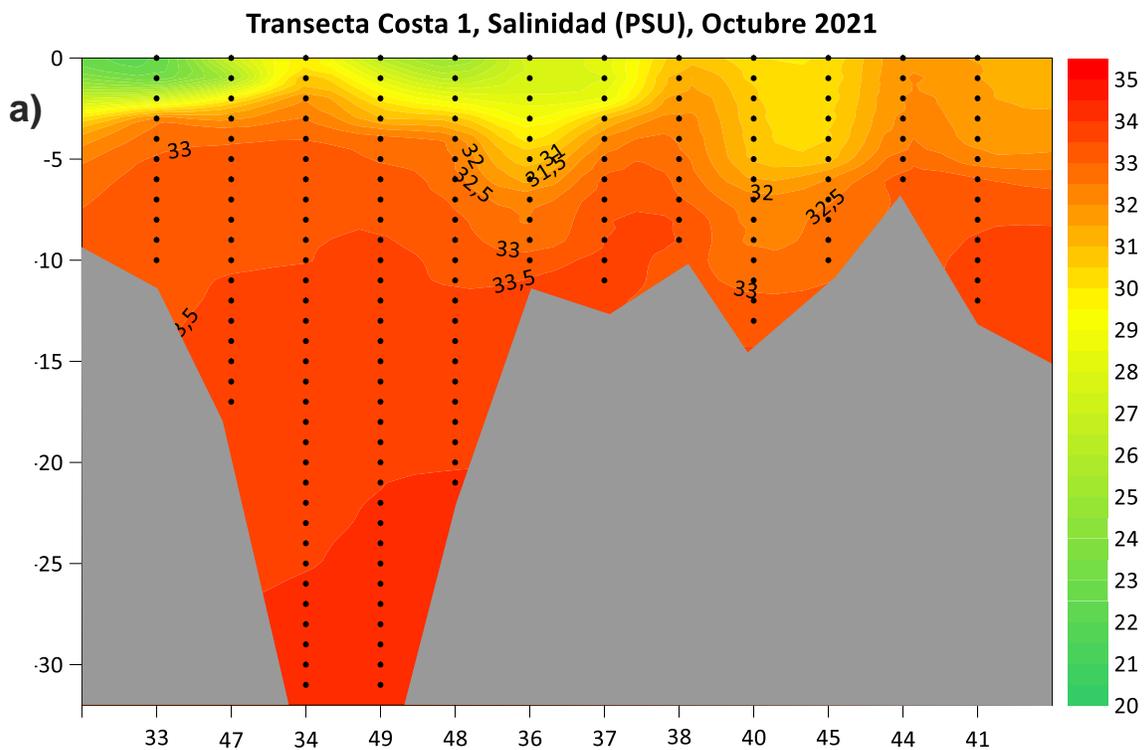


Figura 8. Secciones hidrográficas de salinidad (PSU) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

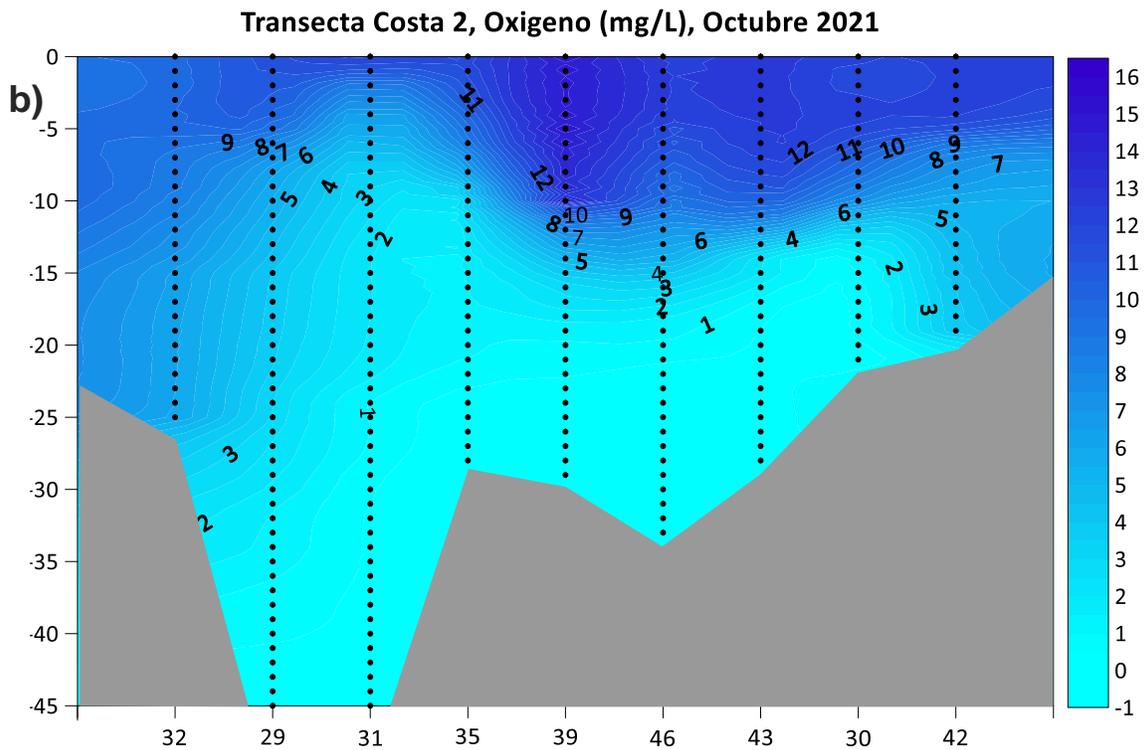
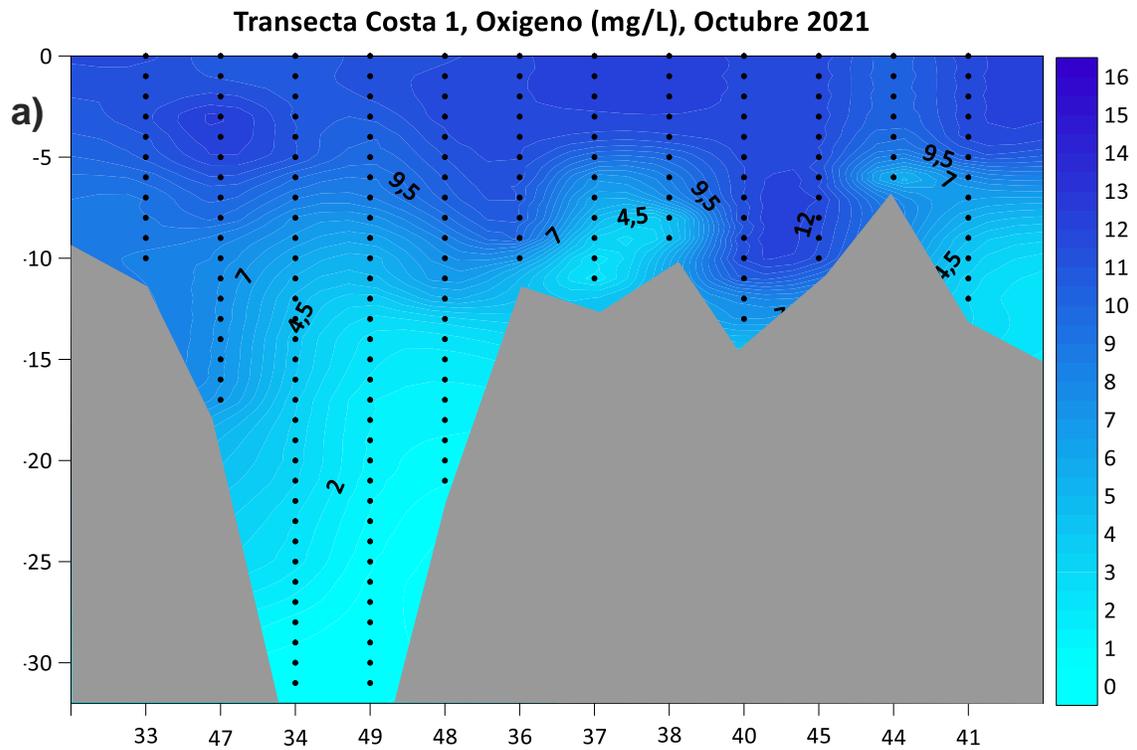


Figura 9. Secciones hidrográficas de oxígeno disuelto (mg/l) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

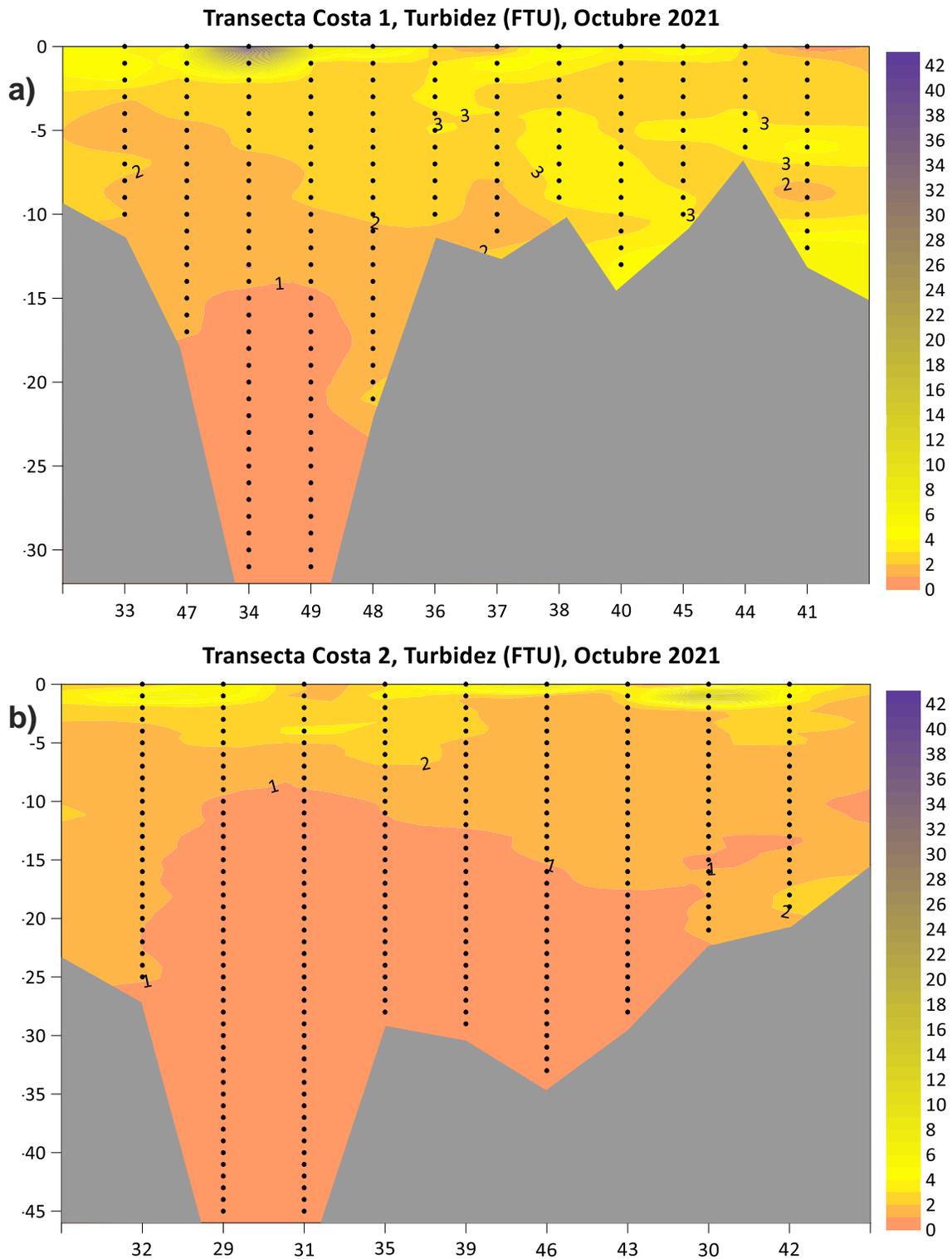


Figura 10. Secciones hidrográficas de turbidez (FTU) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

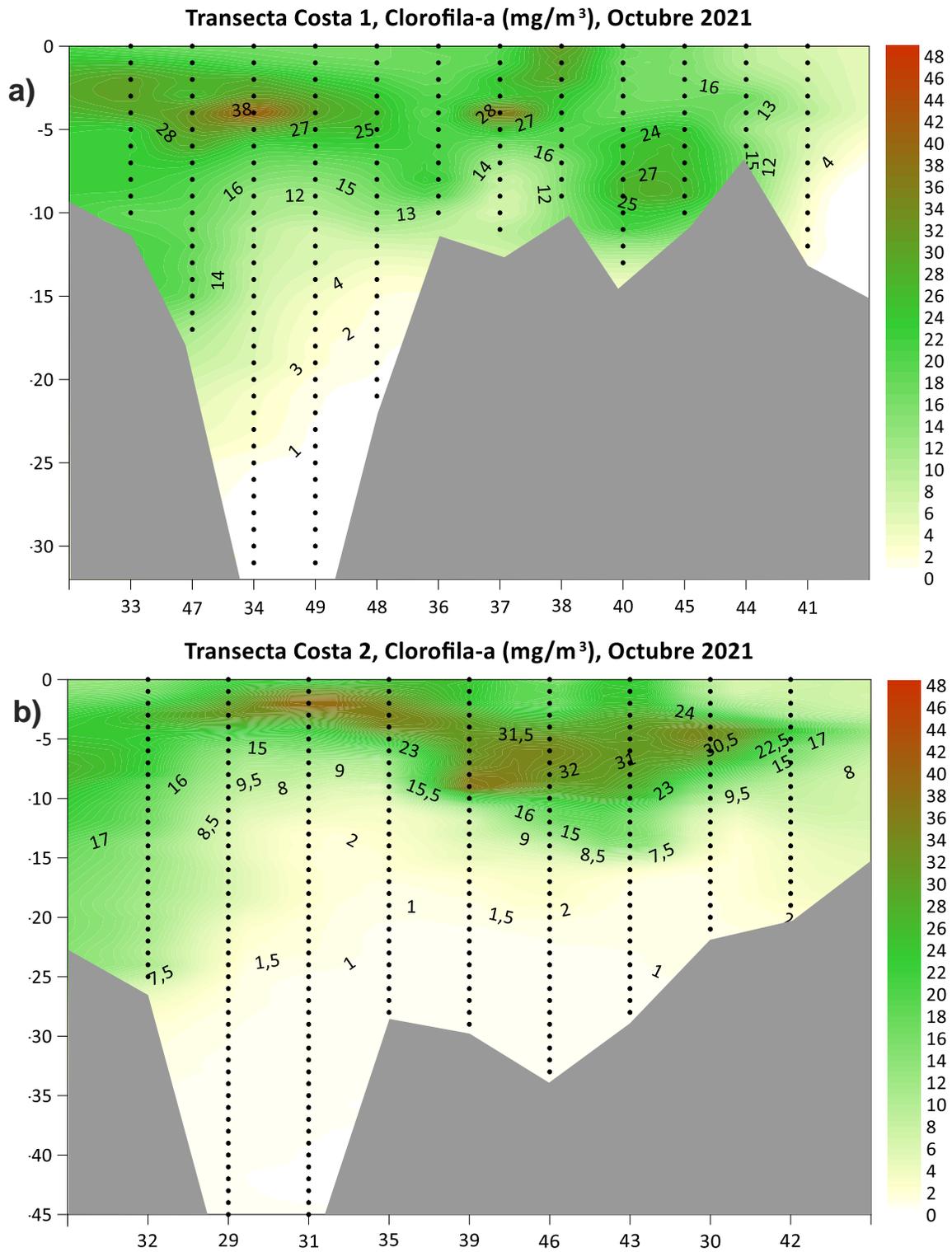


Figura 11. Secciones hidrográficas de clorofila-a (mg m⁻³) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

4.1.1.2.2 Columna de agua

En la **Tabla 11** se entrega la estadística descriptiva para el total de mediciones de parámetros físico-químicos analizados en columna de agua para la campaña de octubre de 2021. Los metales Al y Hg, los detergentes y clorofenoles mostraron el 100% de los datos bajo los límites de detección de laboratorio (destacados en gris). Sólo V, oxígeno disuelto y AOX mostraron una distribución de datos cercana a la normal, mientras que el resto de las variables analizadas mostró diferencias estadísticamente significativas respecto de la distribución normal ($\text{normtest.p} < 0,05$). El cloro libre residual y los nutrientes nitrito, nitrato, amonio, nitrógeno disuelto, fósforo disuelto y fósforo total, mostraron una alta variabilidad ($\text{cv} > 100\%$).

Tabla 11. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en columna de agua submareal. Campaña octubre 2021. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%	normtest.W	normtest.p
Aluminio	(µg/l)	26	0,7000	0,7000	0,7000	0,7000	0,0000	0%	-	-
Arsénico	(µg/l)	14	0,7700	1,5400	0,9500	1,0550	0,2596	25%	0,8739	0,0477
Cadmio	(µg/l)	42	0,0220	0,1030	0,0760	0,0717	0,0210	29%	0,9351	0,0194
Mercurio	(µg/l)	42	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,0000	0%	-	-
Plomo	(µg/l)	42	0,0420	0,3190	0,0700	0,0947	0,0630	67%	0,7284	0,0000
Vanadio	(µg/l)	14	1,4900	2,1300	1,7400	1,8014	0,2310	13%	0,8920	0,0864
pH	(-)	42	7,3400	8,5000	8,1450	8,0183	0,3435	4%	0,9214	0,0067
Sólidos Suspendidos Totales	(mg/l)	42	3,3000	11,0000	6,3000	6,3286	1,9174	30%	0,9364	0,0215
Detergentes	(mg/l)	26	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0000	0%	-	-
Oxígeno disuelto	(mg/l)	8	0,6000	17,8429	13,4714	11,7911	6,1036	52%	0,9064	0,3297
Cloro Libre Residual	(mg/l)	14	0,0100	0,2900	0,0100	0,0364	0,0739	203%	0,4036	0,0000
N-Nitrito	(mg/l)	42	0,0030	0,0540	0,0030	0,0074	0,0091	122%	0,5387	0,0000
N-Nitrato	(mg/l)	42	0,0230	0,5920	0,0230	0,1766	0,2170	123%	0,6898	0,0000
N-Amonio	(mg/l)	42	0,0100	0,1870	0,0100	0,0385	0,0417	108%	0,7320	0,0000
Nitrógeno Kjeldahl	(mg/l)	42	0,5000	1,1500	0,5400	0,5783	0,1178	20%	0,5718	0,0000
Nitrógeno disuelto	(mg/l)	42	0,0230	0,6640	0,0790	0,2126	0,2408	113%	0,7439	0,0000
Nitrógeno total	(mg/l)	42	0,5000	1,1950	0,6255	0,7482	0,2433	33%	0,8266	0,0000
Fósforo disuelto	(mg/l)	42	0,0700	2,6510	0,0700	0,1516	0,3967	262%	0,1928	0,0000
Fósforo total	(mg/l)	42	0,0750	2,8690	0,1620	0,2553	0,4274	167%	0,3223	0,0000
Fosfatos	(mg/l)	42	0,0200	0,3220	0,0745	0,1281	0,1219	95%	0,7746	0,0000
Indice de Fenol	(mg/l)	42	0,0010	0,0050	0,0010	0,0012	0,0007	56%	0,3496	0,0000
AOX	(µg/l)	42	31,4500	43,8800	38,4650	38,2981	2,6176	7%	0,9661	0,2431
Hidrocarburos Totales	(µg/l)	42	1,1210	5,9230	2,8585	2,8802	0,7932	28%	0,9257	0,0093
Carbono Orgánico Total	(mg/l)	42	0,6700	3,9700	1,9000	2,0607	0,9234	45%	0,9447	0,0420
Clorofenoles	(µg/l)	10	0,0060	0,0060	0,0060	0,0060	0,0000	0%	-	-

El análisis boxplot para las concentraciones de metales observadas por zona (**Figura 12**), reveló que el arsénico, medido en la zona 2, osciló entre 0,77 y 1,54 $\mu\text{g/l}$. El cadmio mostró un rango de variación que osciló entre 0,022 y 0,103 $\mu\text{g/l}$, con mayores concentraciones en la zona 2. El plomo mostró concentraciones normalmente inferiores a 0,15 $\mu\text{g/l}$, con registros atípicos (ver puntos) en las zonas 1, 2 y 3, que superaron 0,2 $\mu\text{g/l}$. Finalmente, vanadio mostró concentraciones que en la zona 2 oscilaron entre 1,49 y 2,13 $\mu\text{g/l}$.

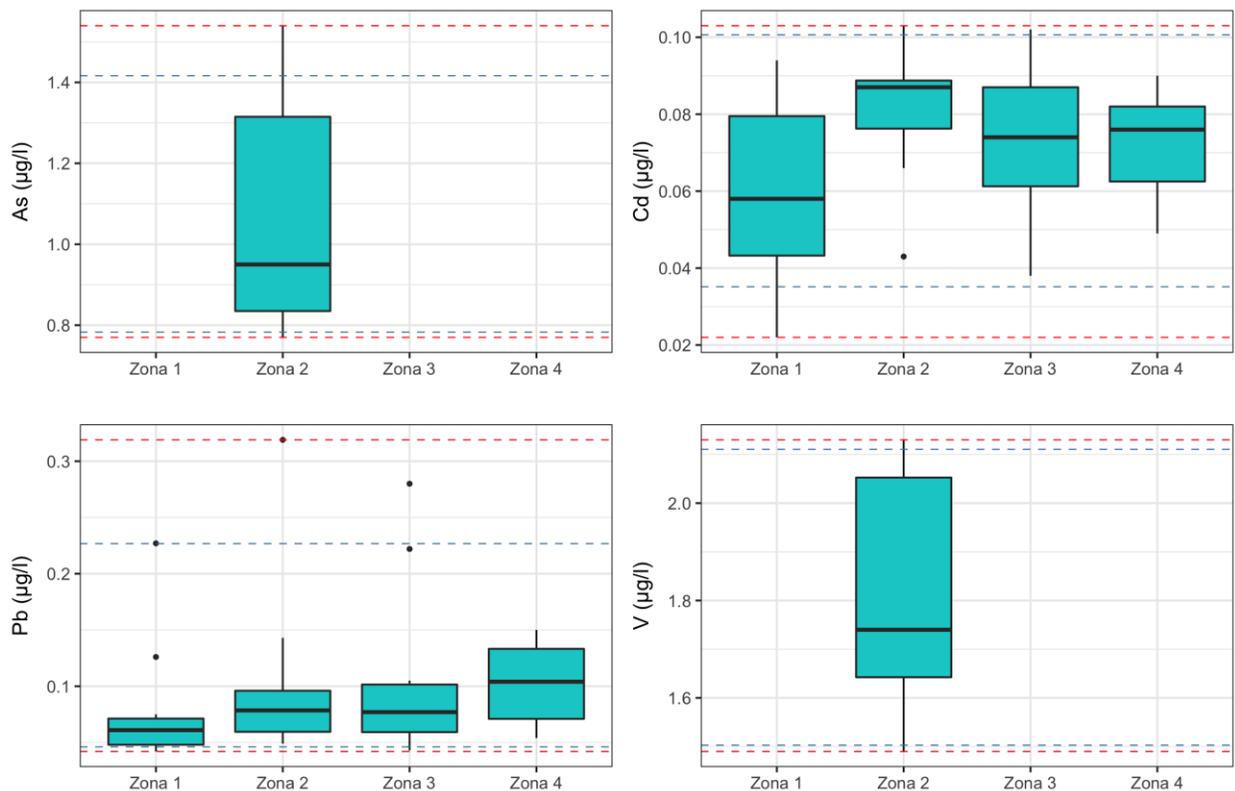


Figura 12. Boxplots para las concentraciones observadas de metales As, Cd, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.

Los parámetros pH, sólidos suspendidos totales y oxígeno disuelto mostraron una alta variabilidad, con baja diferenciación entre zonas, aunque en el caso del oxígeno, destaca una concentración promedio más baja en la zona 2 (**Figura 13**). El cloro libre residual, medido en la zona 2, muestra la mayor proporción de las concentraciones bajo 0,05 $\mu\text{g/l}$, con un registro atípico que alcanzó 0,29 $\mu\text{g/l}$.

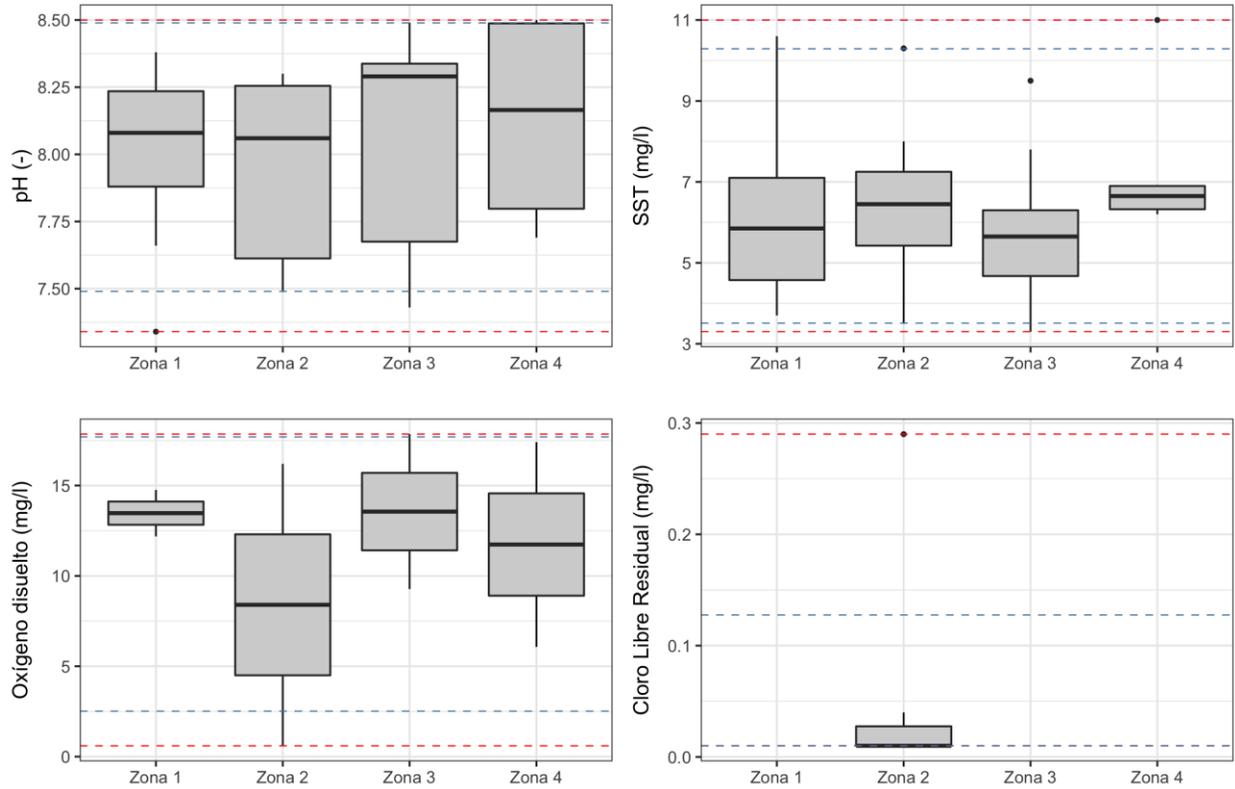


Figura 13. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST); Oxígeno disuelto y Cloro Libre Residual por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.

Los nutrientes mostraron una alta variabilidad, especialmente en el caso de nitritos en Zona 1, nitrógeno Kjeldahl en Zona 3, destacando menores concentraciones de amonio en Zona 4 (**Figura 14**). Fósforo disuelto y fósforo total mostraron una alta variabilidad, con presencia de observaciones atípicas en Zona 1, mientras que los fosfatos mostraron una baja diferenciación entre zonas (**Figura 15**).

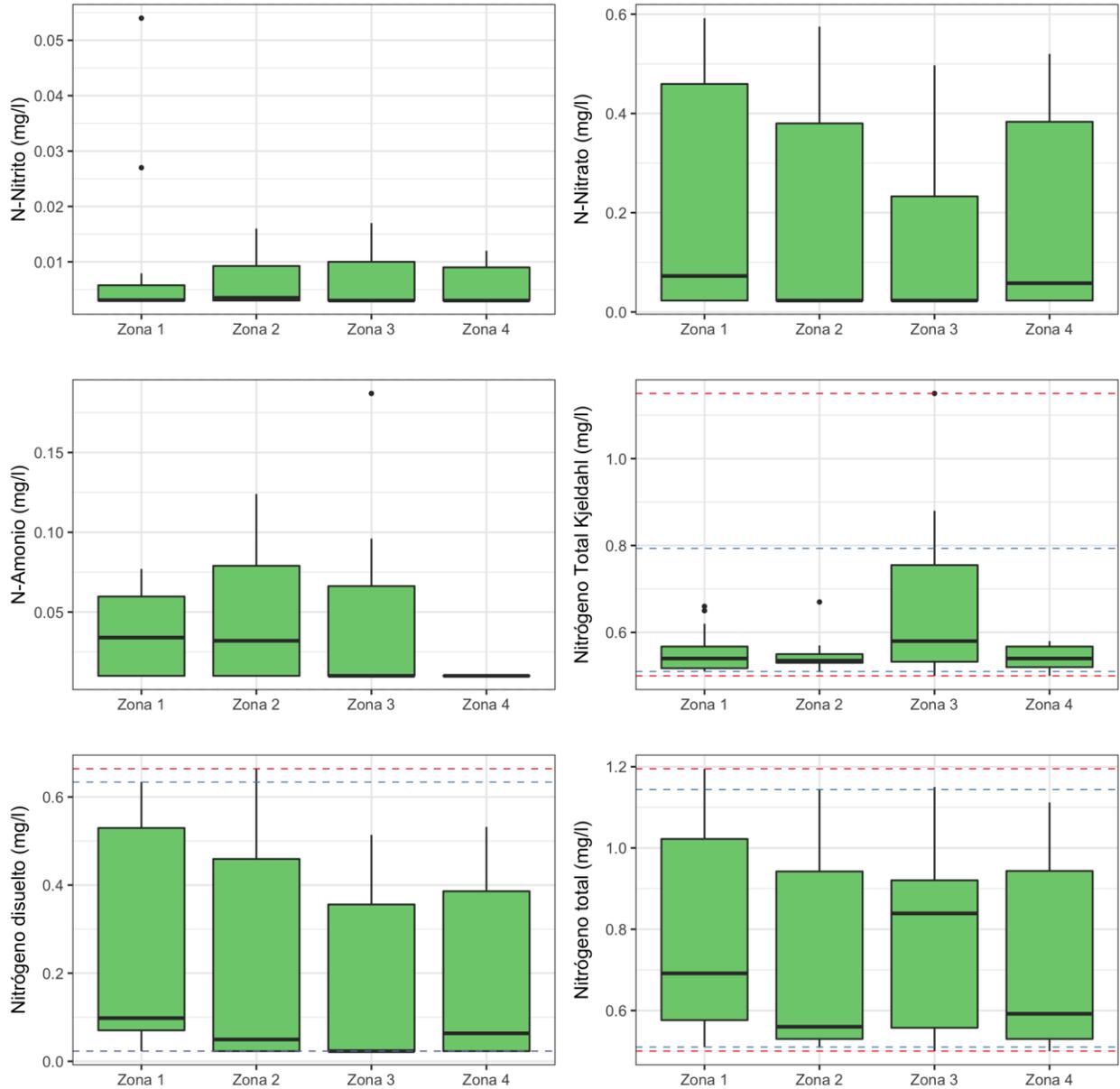


Figura 14. Boxplots para las concentraciones observadas de los nutrientes N-Nitrito, N-Nitrato, N-Amonio, Nitrogeno Total Kjeldahl, Nitrogeno disuelto y Nitrogeno total por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.

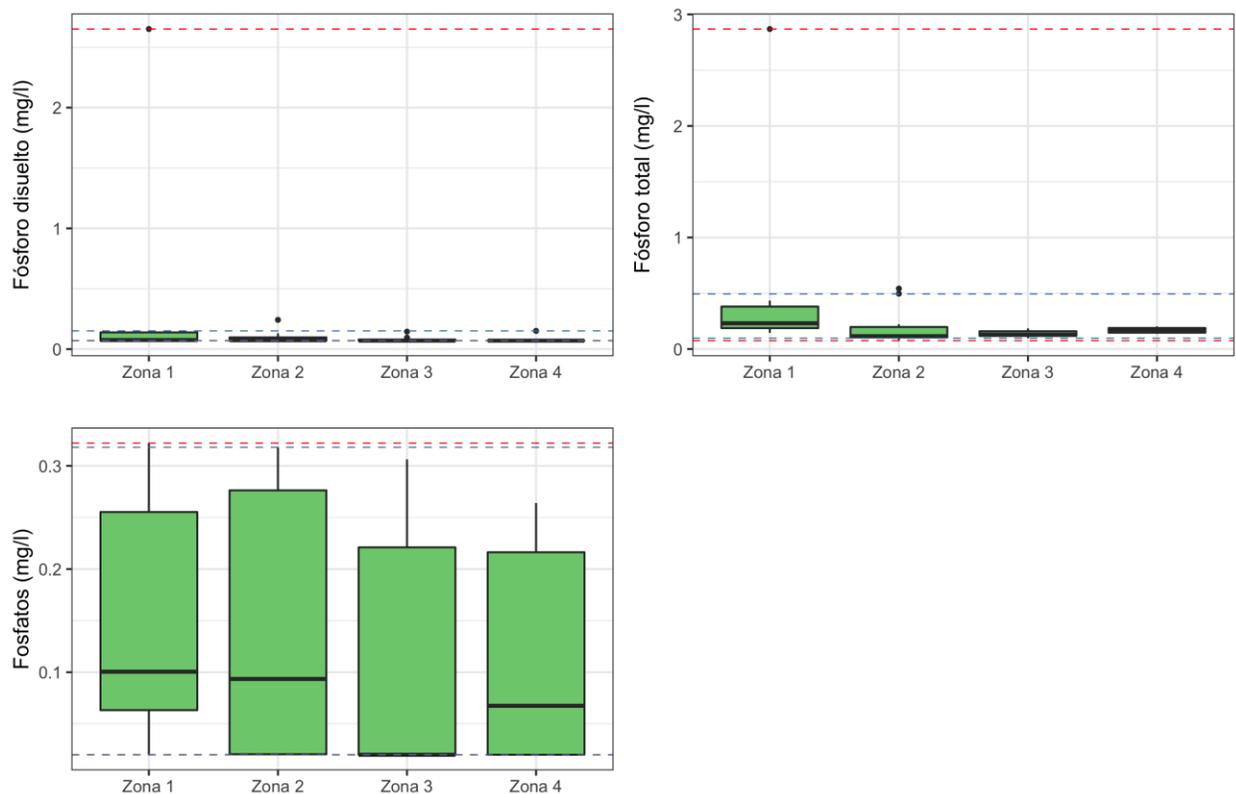


Figura 15. Boxplots para las concentraciones observadas de los nutrientes Fósforo disuelto, Fósforo total y Fosfatos por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.

Los compuestos orgánicos mostraron una mayor concentración de Índice de Fenol, AOX y Carbono Orgánico Total en la Zona 3 y mayor presencia de hidrocarburos totales en Zona 2 (**Figura 16**). Destaca en todos los casos concentraciones más bajas en la Zona 4.

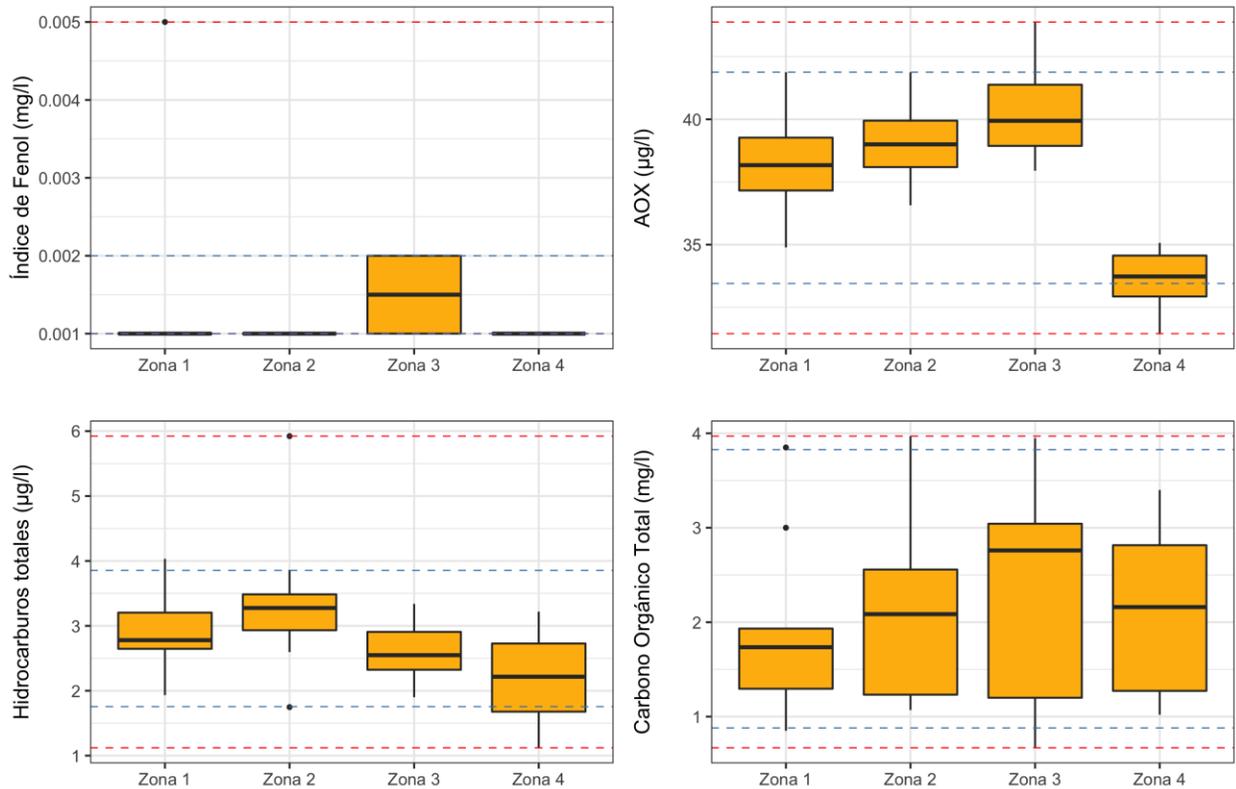


Figura 16. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros orgánicos, índice de Fenol, AOX, Hidrocarburos totales y Carbono Orgánico Total por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.

4.1.1.2.3 Sedimentos

El análisis de la granulometría de sedimentos submareales por zona revela una mayor variabilidad en la composición granulométricas de las Zonas 1 y 2, con una mayor proporción de arenas finas en las Zonas 3 y 4 (**Figura 17**). La fracción fina (limos) alcanza una mayor representatividad en las Zonas 2 y 3, estando prácticamente ausente en la Zona 4.

El análisis de los estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físicoquímicos medidos en sedimentos revela que EOX mostró el 100% de los registros bajo el límite de detección (destacado en gris) (**Tabla 12**) y que los parámetros Cd, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos Totales y Potencial Redox mostraron una alta dispersión ($cv > 100\%$).

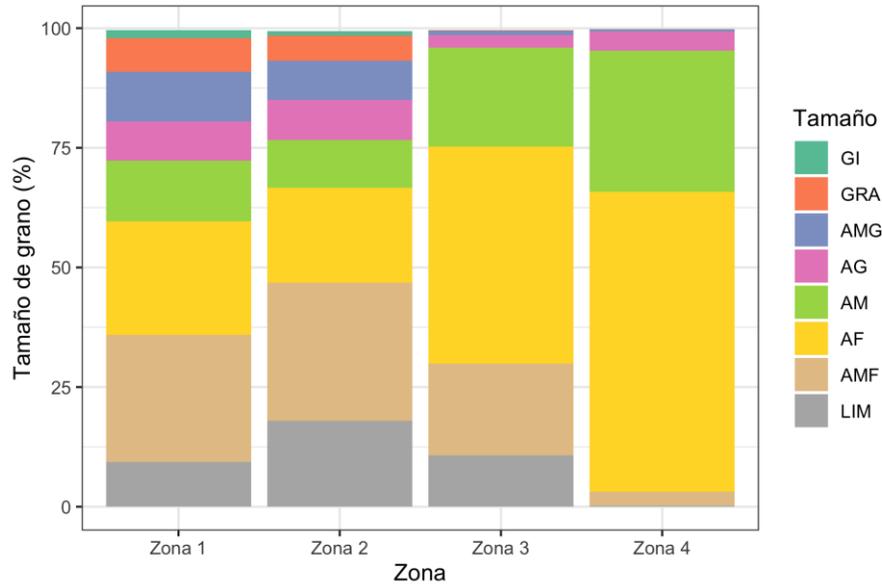


Figura 17. Composición granulométrica promedio de sedimentos submareales por zona de muestreo. Campaña octubre 2021. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Guijarro.

Tabla 12. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos submareales. Campaña octubre 2021. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%	normtest.W	normtest.p
Aluminio	(µg/g)	13	23759	70159	63695	54726	14793	27%	0,8777	0,0664
Arsénico	(µg/g)	7	8,830	18,140	14,390	13,669	3,039	22%	0,9858	0,9826
Cadmio	(µg/g)	21	0,018	6,564	0,479	1,135	1,547	136%	0,7195	0,0000
Mercurio	(µg/g)	21	0,002	0,205	0,095	0,091	0,064	70%	0,9226	0,0980
Plomo	(µg/g)	21	2,478	19,622	9,678	10,084	5,688	56%	0,9050	0,0438
Vanadio	(µg/g)	7	63,90	143,68	133,84	121,38	28,88	24%	0,7669	0,0190
AOX	(µg/g)	21	25,12	227,05	92,99	110,71	60,98	55%	0,9314	0,1468
EOX	(µg/g)	5	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0%	-	-
Carbono Orgánico Total	(%)	21	0,130	8,608	2,027	2,115	2,195	104%	0,8385	0,0027
Hidrocarburos Totales	(µg/g)	21	1,613	110,042	7,653	17,640	25,819	146%	0,6570	0,0000
Potencial Redox	(mV)	21	-428,90	341,60	-120,70	-130,08	197,62	-152%	0,9677	0,6807

El análisis boxplot para las concentraciones medidas por zona revela, en general, mayores concentraciones de Al, As, Pb, AOX, carbono orgánico total e hidrocarburos totales en la Zona 2

y menores concentraciones en la Zona 4 (**Figuras 18 y 19**). Hg mostró concentraciones más altas en las Zonas 1 y 2 y el potencial redox resultó más alto en las Zonas 3 y 4.

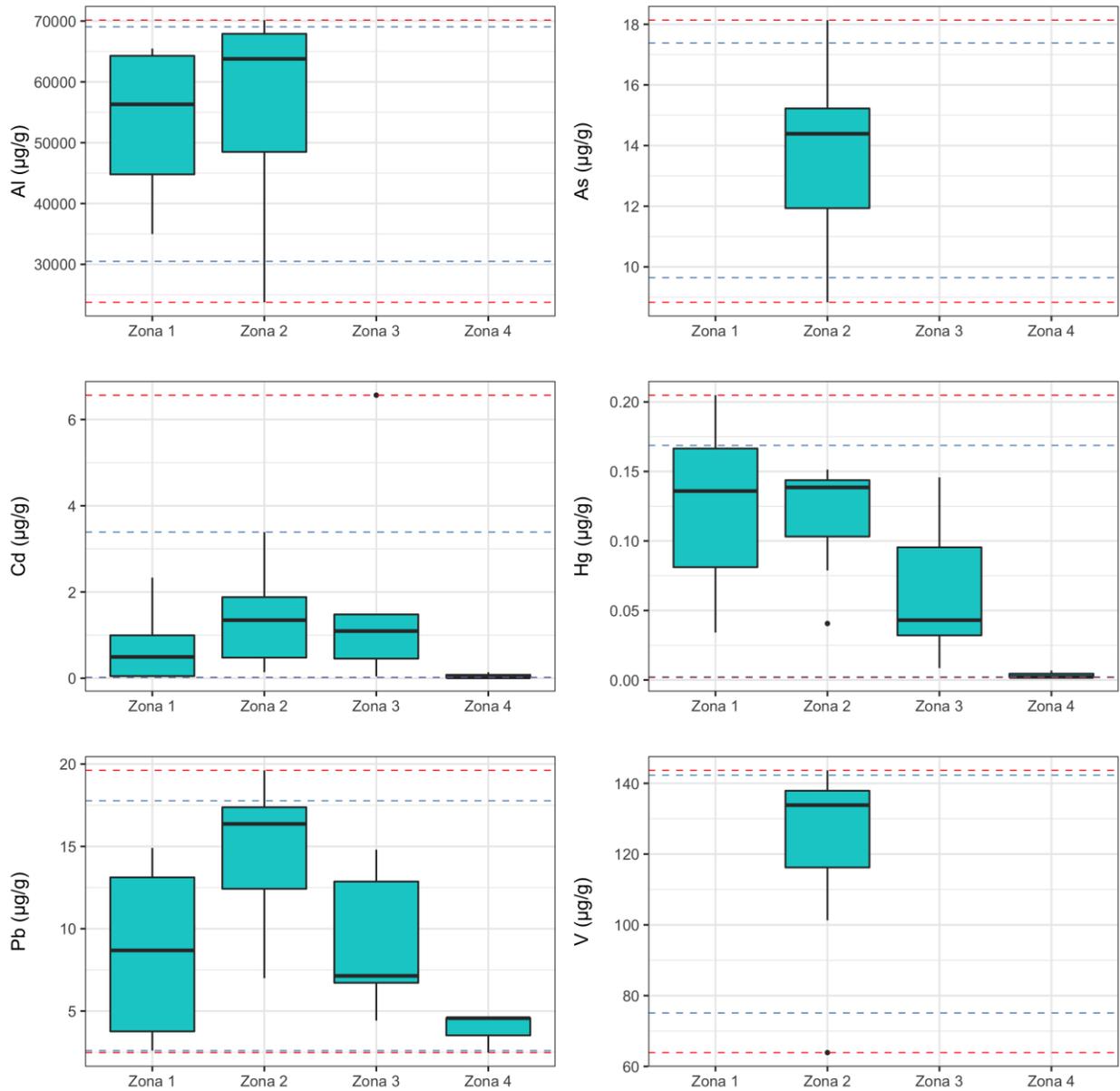


Figura 18. Boxplots para las concentraciones observadas de los metales Al, As, Cd, Hg, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.

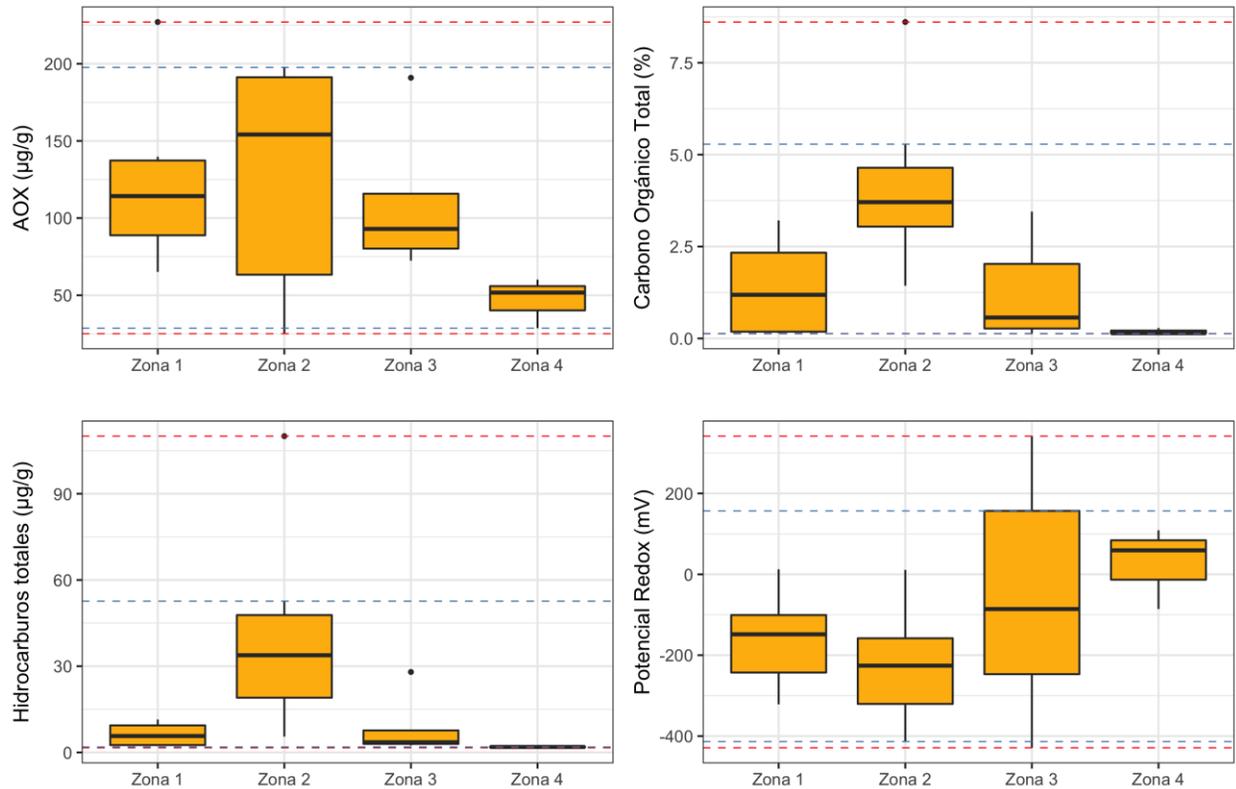


Figura 19. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros AOX, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.

Estos resultados permiten establecer que en el submareal la columna de agua mostró menor diferenciación espacial que los sedimentos, con menores niveles de oxígeno disuelto y mayores concentraciones de amonio en la Zona 2, además de mayores concentraciones de nitrógeno Kjeldahl en la Zona 3. En sedimentos se observó mayores concentraciones de Al, As, Pb, AOX, carbono orgánico total e hidrocarburos totales en la Zona 2.

4.1.1.3 Ambiente intermareal

4.1.1.3.1 Sedimentos

El análisis de la granulometría de los sedimentos intermareales muestra una mayor proporción de arenas gruesas en las Zonas 1 y 2 con un incremento gradual de la proporción de arenas finas en las Zonas 3 y 4 (**Figura 20**).

El análisis de los estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos revela que EOX mostró el 100% de los registros bajo el límite de detección (**Tabla 13**) y que los parámetros Hg, Carbono Orgánico Total e Hidrocarburos totales mostraron una alta variabilidad ($cv > 100\%$).

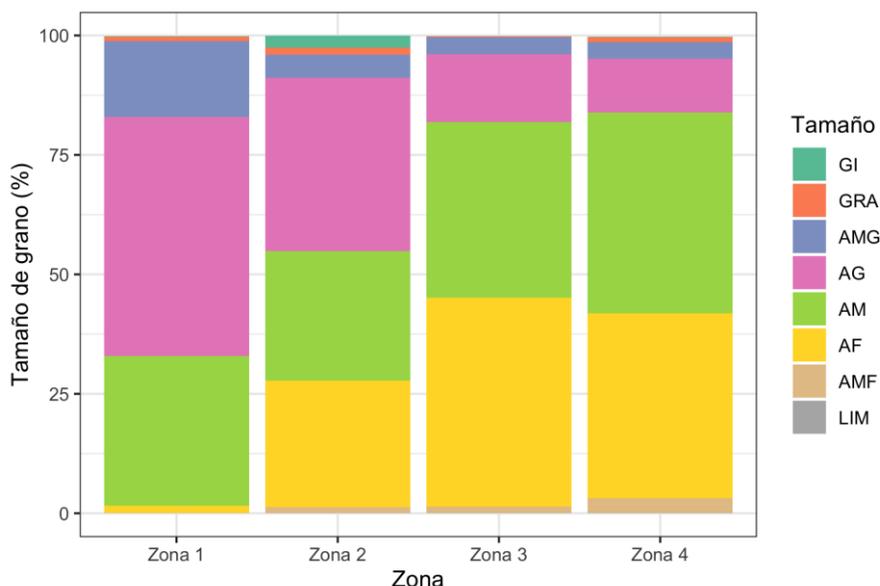


Figura 20. Composición granulométrica promedio de sedimentos intermareales por zona de muestreo. Campaña octubre 2021. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Gujarro.

Tabla 13. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos intermareales. Campaña octubre 2021. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%	normtest.W	normtest.p
Aluminio	($\mu\text{g/g}$)	12	26178	53849	35239	36359	7076	19%	0,9056	0,1874
Arsénico	($\mu\text{g/g}$)	7	1,500	6,710	3,385	3,638	2,335	64%	0,8245	0,0709
Cadmio	($\mu\text{g/g}$)	19	0,014	0,034	0,022	0,022	0,005	23%	0,9435	0,3040
Mercurio	($\mu\text{g/g}$)	19	0,001	0,041	0,003	0,007	0,011	154%	0,5969	0,0000
Plomo	($\mu\text{g/g}$)	19	1,708	7,879	2,656	3,551	1,962	55%	0,7991	0,0011
Vanadio	($\mu\text{g/g}$)	7	50,00	95,77	72,35	72,53	20,72	29%	0,8366	0,0923
AOX	($\mu\text{g/g}$)	19	20,98	95,05	57,21	55,25	19,93	36%	0,9465	0,3440
EOX	($\mu\text{g/g}$)	4	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0%	-	-
Carbono Orgánico Total	(%)	19	0,030	4,040	0,070	0,463	1,135	245%	0,4195	0,0000
Hidrocarburos Totales	($\mu\text{g/g}$)	19	1,635	174,584	3,215	16,732	43,061	257%	0,3911	0,0000
Potencial Redox	(mV)	19	147,10	210,00	170,90	172,85	18,39	11%	0,9121	0,0808

El análisis boxplot para las concentraciones medidas por zona revela, en general, mayores concentraciones de Hg, Pb, carbono orgánico total e hidrocarburos totales en la Zona 2 y menores concentraciones de Hg y Pb en las Zonas 1 y 4 (**Figuras 21 y 22**). AOX mostró concentraciones más bajas en la Zona 4 y el potencial redox no mostró una diferenciación importante entre zonas.

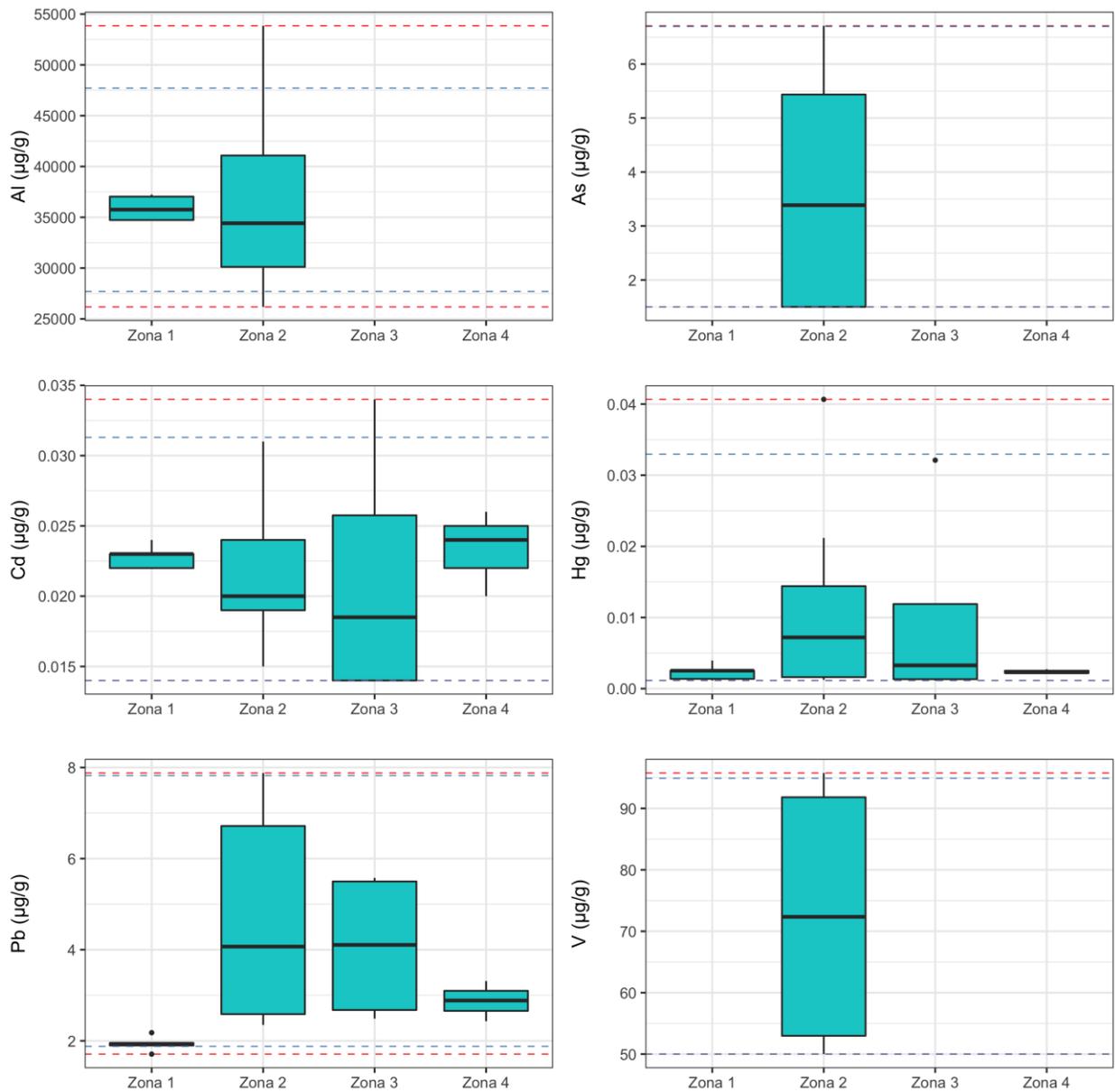


Figura 21. Boxplots para las concentraciones observadas de los metales Al, As, Cd, Hg, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.

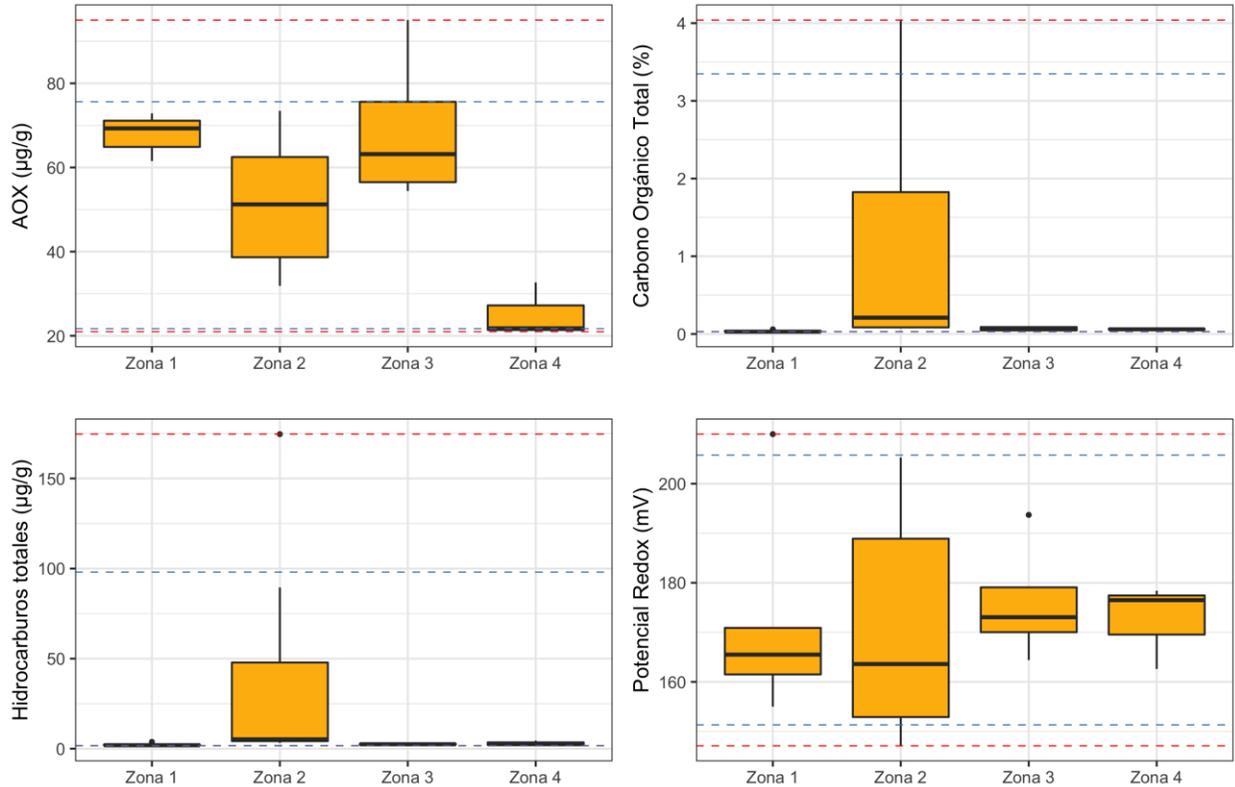


Figura 22. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros AOX, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña octubre 2021.

4.1.2 Campaña enero 2022

4.1.2.1 Ambiente Estuario

4.1.2.1.1 Agua

En la **Tabla 14** se entrega la estadística descriptiva para las concentraciones observadas de cada parámetro medido en las 2 estaciones de muestreo dispuestas en la desembocadura del río Biobío. El Hg, los detergentes, además de los nutrientes nitrato y nitrito mostraron el 100% de los datos bajo los límites de detección de laboratorio. Destaca la alta variabilidad observada en la concentración de Al, Pb e hidrocarburos totales, que mostraron coeficientes de variación (cv%) superiores al 100%. Dado el bajo número de observaciones (N=2), no resulta factible la estimación de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks.

Tabla 14. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para la caracterización de las concentraciones observadas en agua de la desembocadura del río Biobío. Campaña enero 2022.

UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%
Aluminio	(µg/l)	2	0,7000	494,6690	247,68	247,685	349,289	141%
Cadmio	(µg/l)	2	0,0150	0,0170	0,0160	0,0160	0,0014	9%
Mercurio	(µg/l)	2	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,0000	0%
Plomo	(µg/l)	2	0,0550	1,4300	0,7425	0,7425	0,9723	131%
pH	(-)	2	7,3600	7,5300	7,4450	7,4450	0,1202	2%
Sólidos Suspendidos Totales	(mg/l)	2	3,7962	3,9000	3,8481	3,8481	0,0734	2%
Detergentes	(mg/l)	2	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0000	0%
Oxígeno disuelto	(mg/l)	2	7,2571	9,2571	8,2571	8,2571	1,4142	17%
N-Nitrito	(mg/l)	2	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120	0,0000	0%
N-Nitrato	(mg/l)	2	0,0110	0,0110	0,0110	0,0110	0,0000	0%
N-Amonio	(mg/l)	2	0,0530	0,2230	0,1380	0,1380	0,1202	87%
Nitrógeno Kjeldahl	(mg/l)	2	0,5000	0,5200	0,5100	0,5100	0,0141	3%
Nitrógeno disuelto	(mg/l)	2	0,0650	0,2350	0,1500	0,1500	0,1202	80%
Nitrógeno total	(mg/l)	2	0,5320	0,5620	0,5470	0,5470	0,0212	4%
Fósforo disuelto	(mg/l)	2	0,2575	0,2980	0,2778	0,2778	0,0286	10%
Fósforo total	(mg/l)	2	0,4370	0,4940	0,4655	0,4655	0,0403	9%
Fosfatos	(mg/l)	2	0,1130	0,1220	0,1175	0,1175	0,0064	5%
Índice de Fenol	(mg/l)	2	0,0018	0,0043	0,0031	0,0031	0,0018	58%
AOX	(µg/l)	2	36,0200	43,2800	39,6500	39,6500	5,1336	13%
Hidrocarburos Totales	(µg/l)	2	0,5070	2,9810	1,7440	1,7440	1,7494	100%
Carbono Orgánico Total	(mg/l)	2	1,9100	2,5600	2,2350	2,2350	0,4596	21%

4.1.2.1.2 Sedimentos

Durante la campaña de enero de 2022, los sedimentos de la zona de la desembocadura mostraron una composición granulométrica dominada por arenas medias y arenas finas, con una mayor proporción de gruesas en la Estación 2 (**Figura 23**).

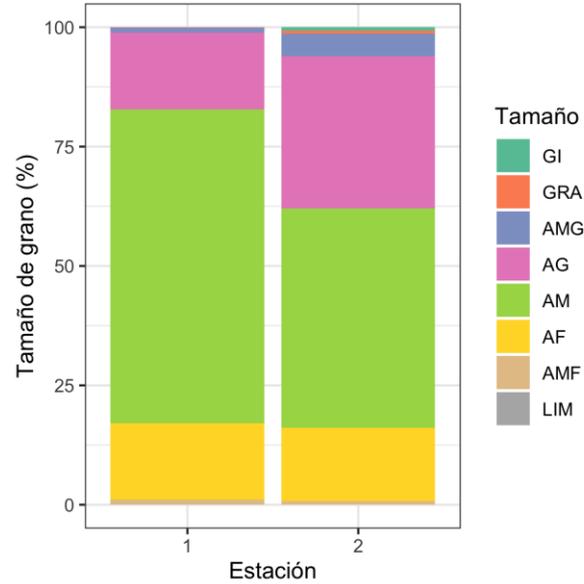


Figura 23. Composición granulométrica observada por estación de muestreo en la desembocadura del río Biobío. Campaña enero 2022. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Gujjarro.

En la **Tabla 15** se entrega la estadística descriptiva para las muestras de sedimentos en la zona estuarina. En este caso, la mayoría de los parámetros mostraron baja variabilidad, destacando el Pb y Cd que mostraron un coeficiente de variación superior al 50%. Dado el bajo número de observaciones (N=2), no fue factible la estimación de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks.

Tabla 15. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para la caracterización de las concentraciones observadas en sedimentos de la desembocadura del río Biobío. Campaña enero 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%
Aluminio	(µg/g)	2	33024	36418	34721	34721	2400	7%
Cadmio	(µg/g)	2	0,018	0,045	0,032	0,032	0,019	61%
Mercurio	(µg/g)	2	0,002	0,004	0,003	0,003	0,001	40%
Plomo	(µg/g)	2	2,149	6,250	4,200	4,200	2,900	69%
AOX	(µg/g)	2	47,95	60,88	54,42	54,42	9,14	17%
Carbono Orgánico Total	(%)	2	0,030	0,050	0,040	0,040	0,014	35%
Hidrocarburos Totales	(µg/g)	2	0,524	0,744	0,634	0,634	0,156	25%
Potencial Redox	(mV)	2	140,80	147,50	144,15	144,15	4,74	3%

4.1.2.2 Ambiente Submareal

4.1.2.2.1 Hidrografía

En la **Tabla 16** se entrega la estadística descriptiva para el total de observaciones hidrográficas en la campaña de enero de 2022. Destaca en este caso, que ninguna de las variables analizadas muestra distribución normal ($\text{normtest.p} < 0,05$), además de la alta variabilidad observada en el caso de los parámetros oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, turbidez y clorofila a ($\text{cv} > 85\%$).

Tabla 16. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros hidrográficos medidos en las estaciones del submareal. Campaña enero 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%	normtest.W	normtest.p
Temperatura	(°C)	506	10,37	19,21	12,90	13,24	2,37	18%	0,9146	0,0000
Salinidad	(psu)	506	20,06	34,65	34,47	34,14	1,33	4%	0,3185	0,0000
Oxígeno disuelto	(mg/l)	506	0,03	14,38	4,82	4,85	4,12	85%	0,8980	0,0000
Saturación oxígeno	(%)	506	0,28	171,59	56,77	58,34	50,46	87%	0,8952	0,0000
Turbidez	(FTU)	506	0,20	10,66	0,90	1,01	0,75	74%	0,7133	0,0000
Clorofila a	(mg m ⁻³)	488	0,66	60,29	4,18	7,05	7,60	108%	0,7718	0,0000

El análisis de los perfiles verticales para cada parámetro por estación y zona (**Figuras 24 a 26**) revela una marcada estratificación en temperatura, con una termoclina entre 0 y 10 metros para las zonas 1 y 2 y entre 5 y 10 metros para las zonas 3 y 4, destacando además la alta variabilidad de la salinidad en superficie, particularmente en la Zona 1, donde es posible apreciar la influencia

del río Biobío en las estaciones 32, 33 y 47 (**Figura 24**). El oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno muestran comportamientos similares (**Figura 25**), con una oxiclina entre 5 y 15 m para la mayoría de las estaciones, observándose en términos generales, concentraciones bajo los 6 mg/l bajo los 15 m de profundidad y una mayor variabilidad en superficie. Los parámetros turbidez y clorofila-a mostraron una alta variabilidad, especialmente en el caso de la turbidez, que mostró un peak de 10 FTU en la estación 30 (Zona 3; **Figura 26**). La clorofila muestra, como patrón general, incrementos alrededor de los 3 y 7 metros de profundidad, particularmente en las Zonas 1 y 2.

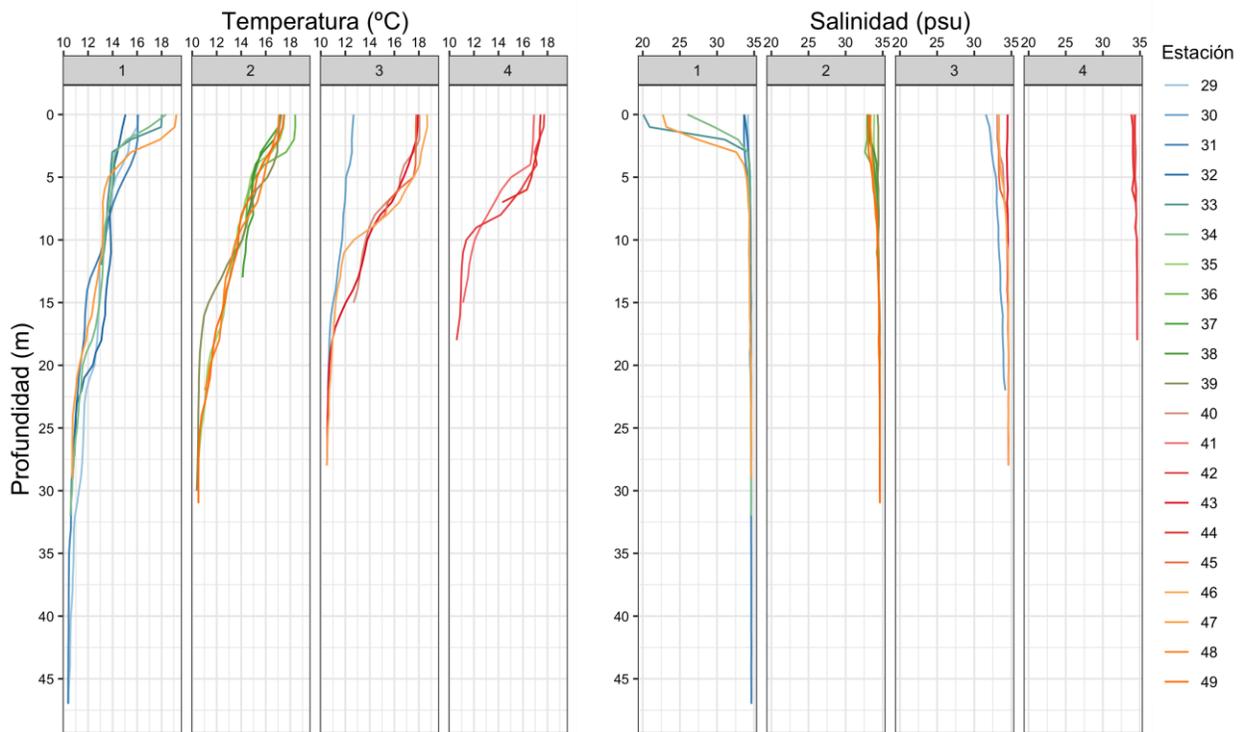


Figura 24. Perfiles de CTDO de temperatura (°C) y salinidad (psu) por zona y estación de muestreo. Campaña enero 2022.

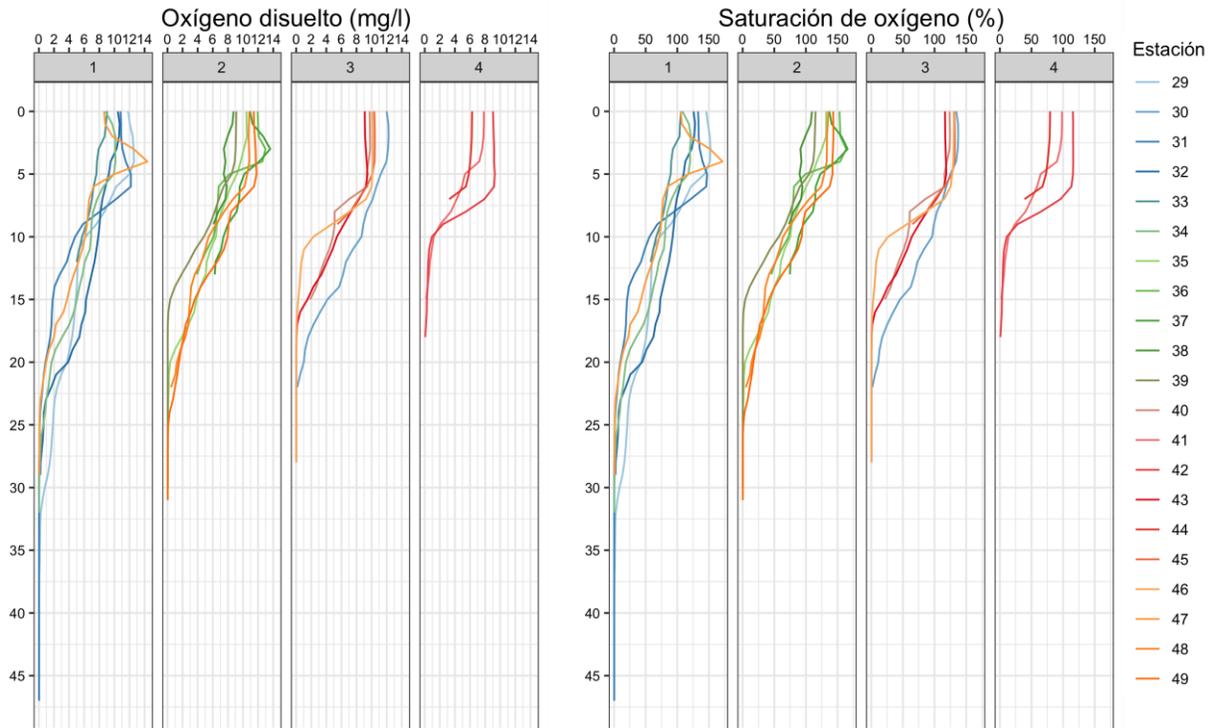


Figura 25. Perfiles de CTDO de oxígeno disuelto (mg/l) y saturación de oxígeno (%) por zona y estación de muestreo. Campaña enero 2022.

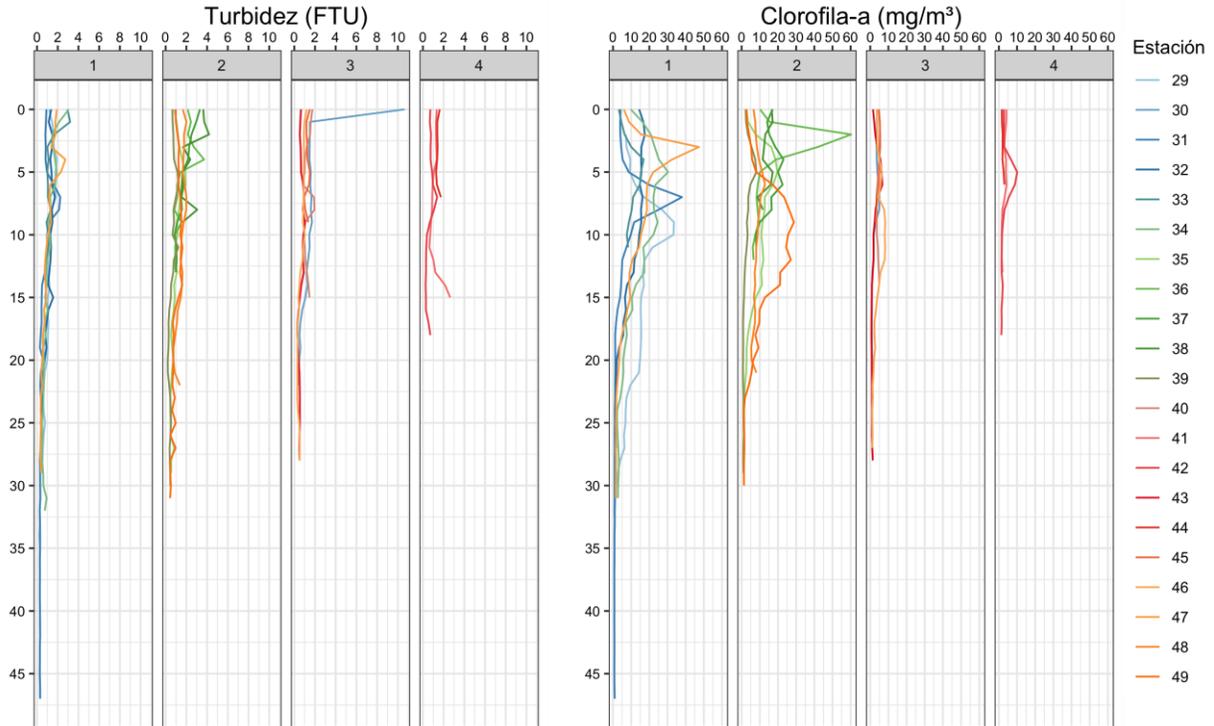


Figura 26. Perfiles de CTD de turbidez (FTU) y clorofila-a (mg/m^3) por zona y estación de muestreo. Campaña enero 2022.

En las **Figuras 27 a 31** se entrega un análisis del comportamiento hidrográfico de la columna de agua durante enero 2022, basado en gráficos de secciones que consideraron 2 transectas que recorren el Golfo de Arauco desde el Norte (desembocadura del Biobío) hasta Punta Lavapié (transecta costera = Transecta 1; transecta más oceánica = Transecta 2). El resultado de este análisis revela una alta variabilidad, con mayores temperaturas en superficie. Los primeros 5 metros de profundidad mostraron temperaturas entre 17 y 20 °C, patrón que fue más notorio a lo largo de la transecta 1 (**Figura 27a**). Bajo los 15 metros de profundidad, la columna de agua registró temperaturas más frías, inferiores a 12 °C.

La salinidad presentó una alta estratificación a lo largo de la columna de agua, con niveles que oscilaron entre 20 y 35 PSU. La salinidad superficial mostró diferencias entre transectas, registrando una capa de baja salinidad asociada a la transecta 1 (**Figura 28a**) principalmente en las estaciones 33, 47 y 34 (Zona 1), lo que confirmaría su asociación con intrusiones de agua dulce provenientes del río Biobío.

Ambas transectas mostraron una columna de agua bien oxigenada, oscilando entre 2 y 16 mg/l, con niveles superiores a 10 mg/l en los primeros 10 metros de profundidad, principalmente en las Zonas 1, 2 y 3 para la transecta 1 (sectores Escuadrón, sur de Bahía Coronel y frente a Laraquete, **Figura 29a**) y en las Zona 1 y 3 para la transecta 2 (sectores Escuadrón y frente a la localidad de Arauco, **Figura 29b**).

La turbidez presentó valores normalmente interiores a 2 FTU, siendo levemente mayores a lo largo de la transecta 1 (**Figura 30a**). A nivel superficial se observaron núcleos con niveles de turbidez más altos (~10 FTU), principalmente en la Zona 2 (sitio 38 en sector Lota, **Figura 30a**).

La clorofila-a mostró una alta variabilidad, con rangos entre 12 y 48 mg m⁻³ en superficie y entre 0 y 8 mg m⁻³ en el fondo. Superficialmente, ambas transectas presentaron altos valores de clorofila-a, observándose núcleos de máxima concentración en los primeros 5 metros de profundidad para la transecta 1 (**Figura 31a**) y entre los 5 y 10 metros de profundidad en la transecta 2 (**Figura 31b**).

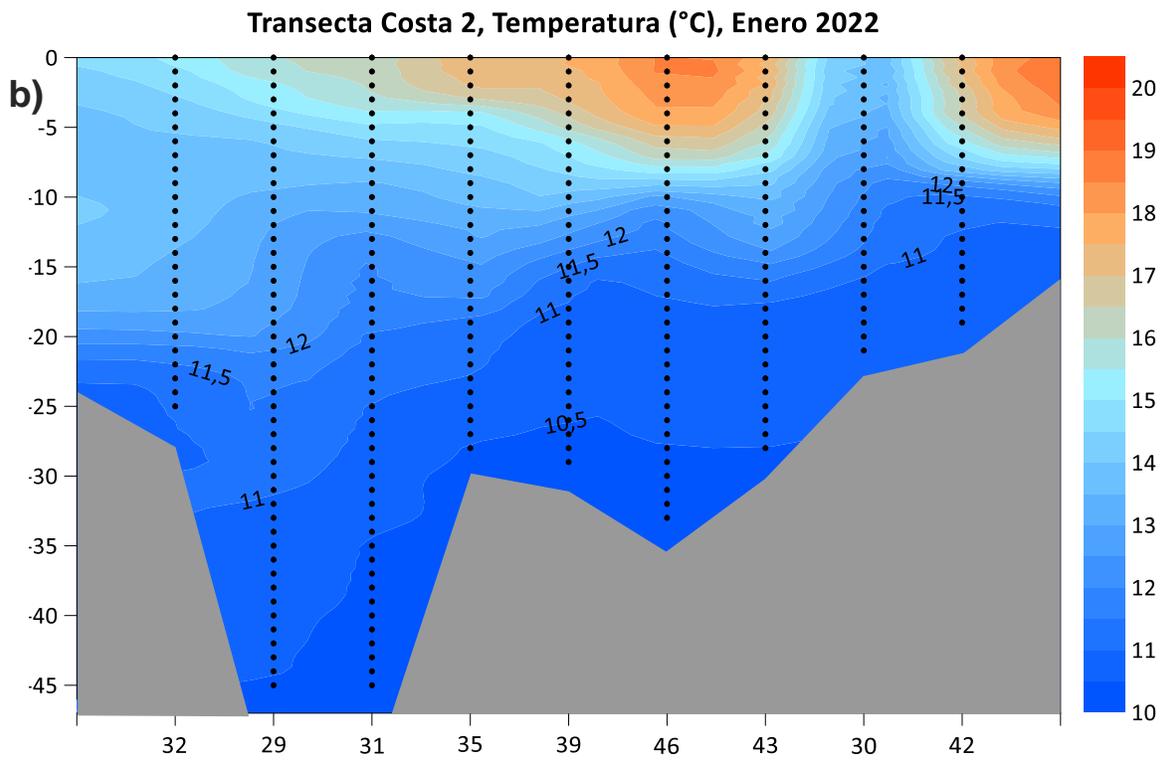
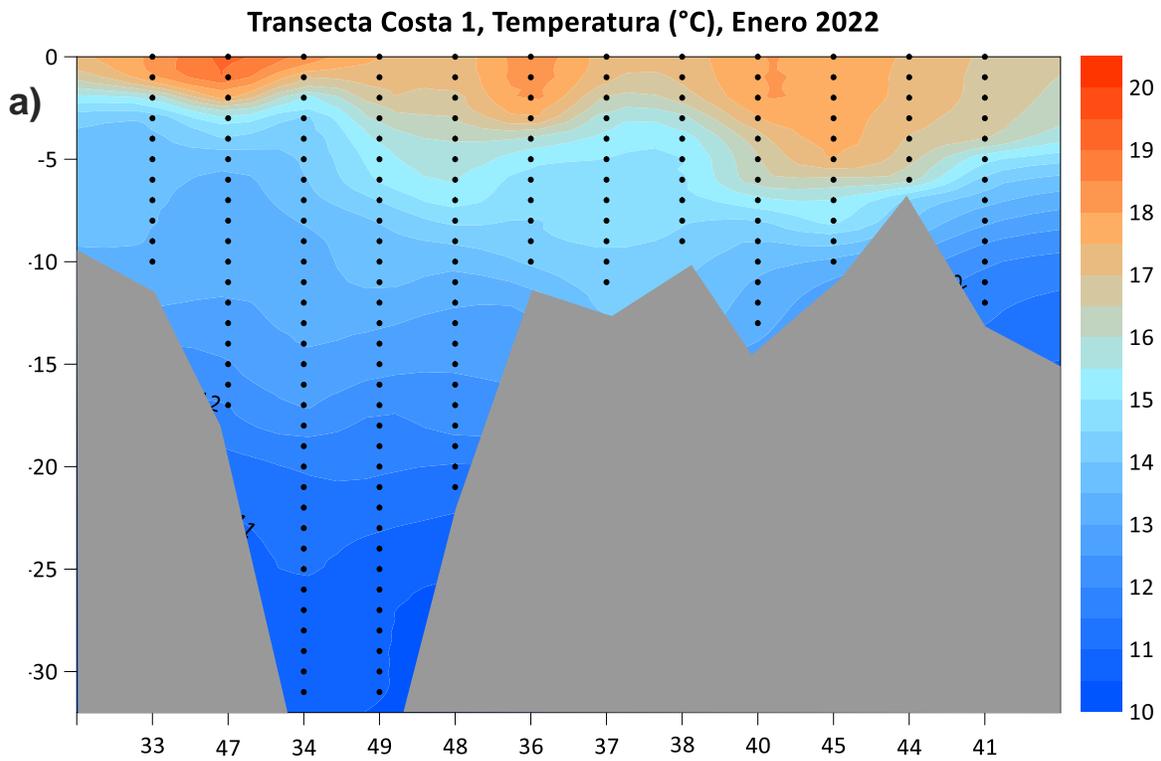


Figura 27. Secciones hidrográficas de temperatura (°C) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

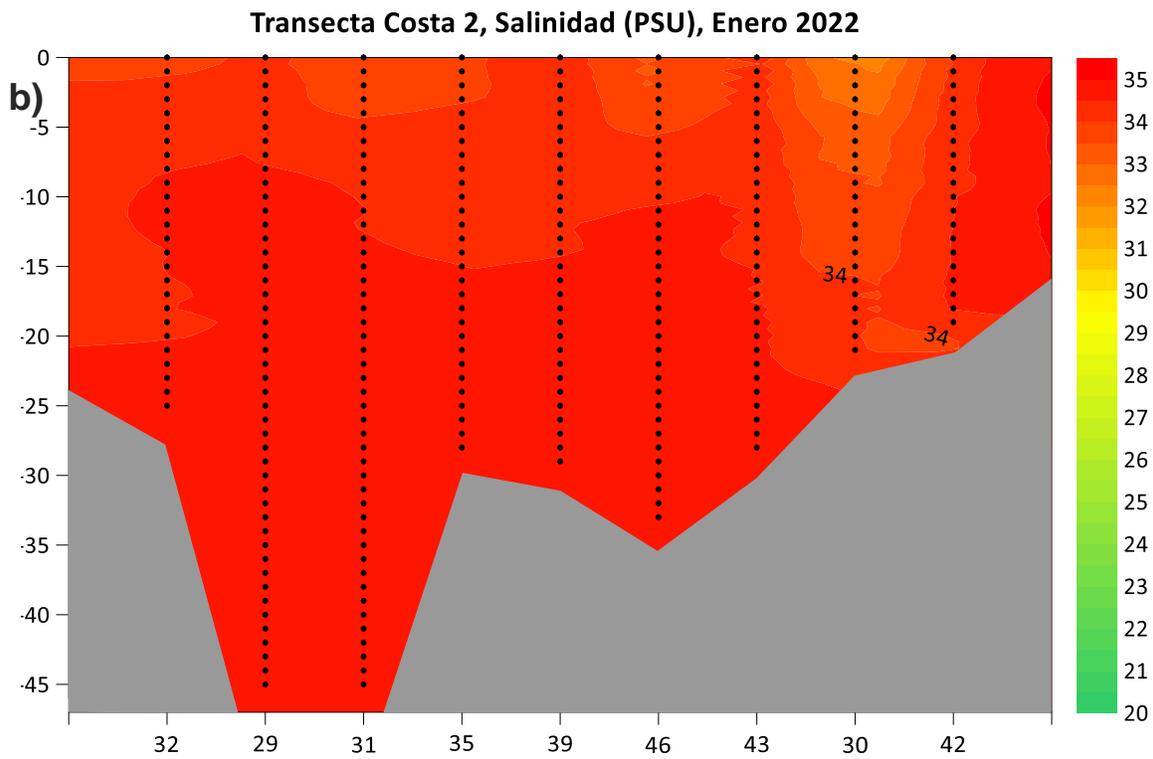
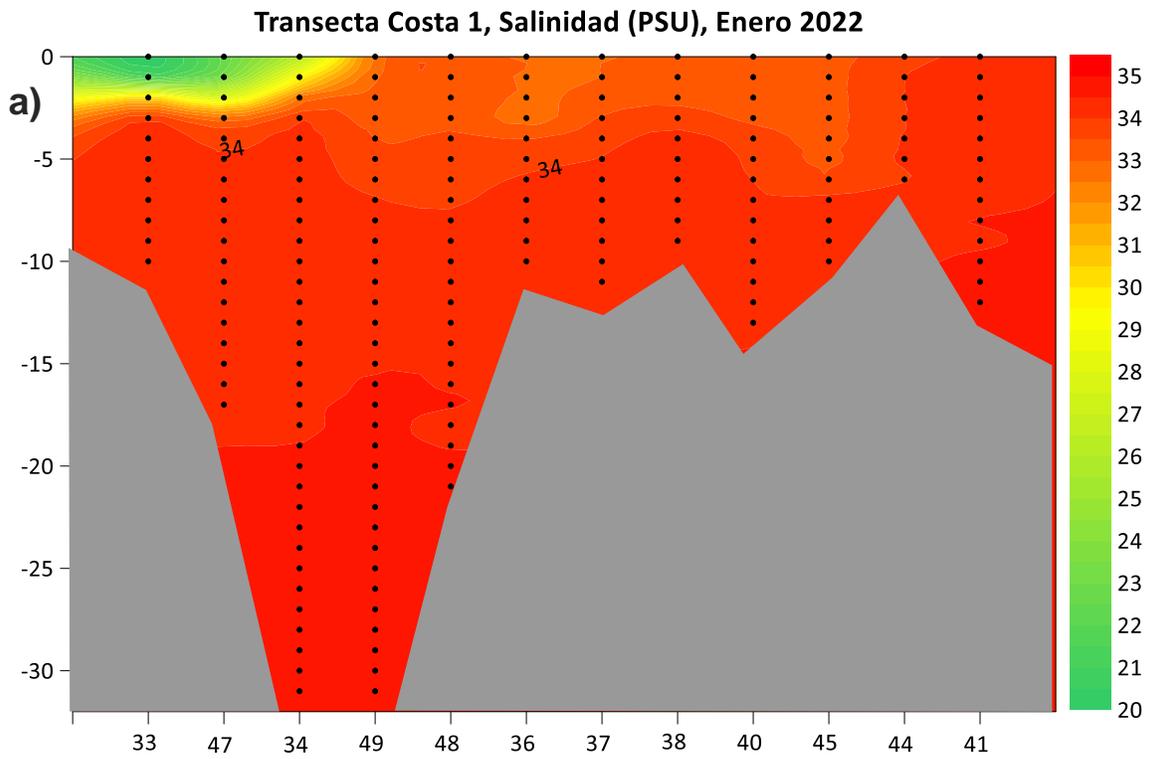


Figura 28. Secciones hidrográficas de salinidad (PSU) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

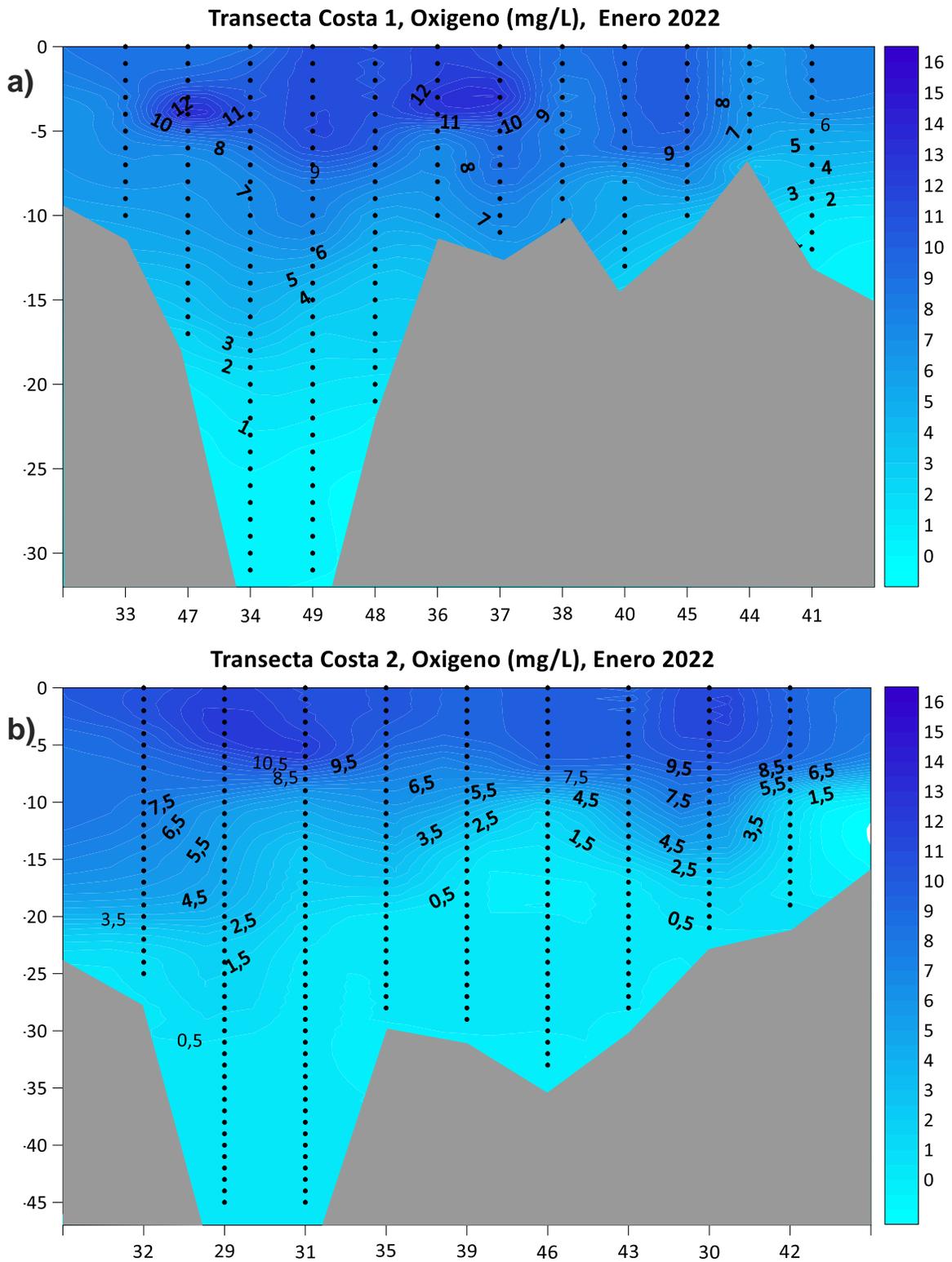


Figura 29. Secciones hidrográficas de oxígeno disuelto (mg/l) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

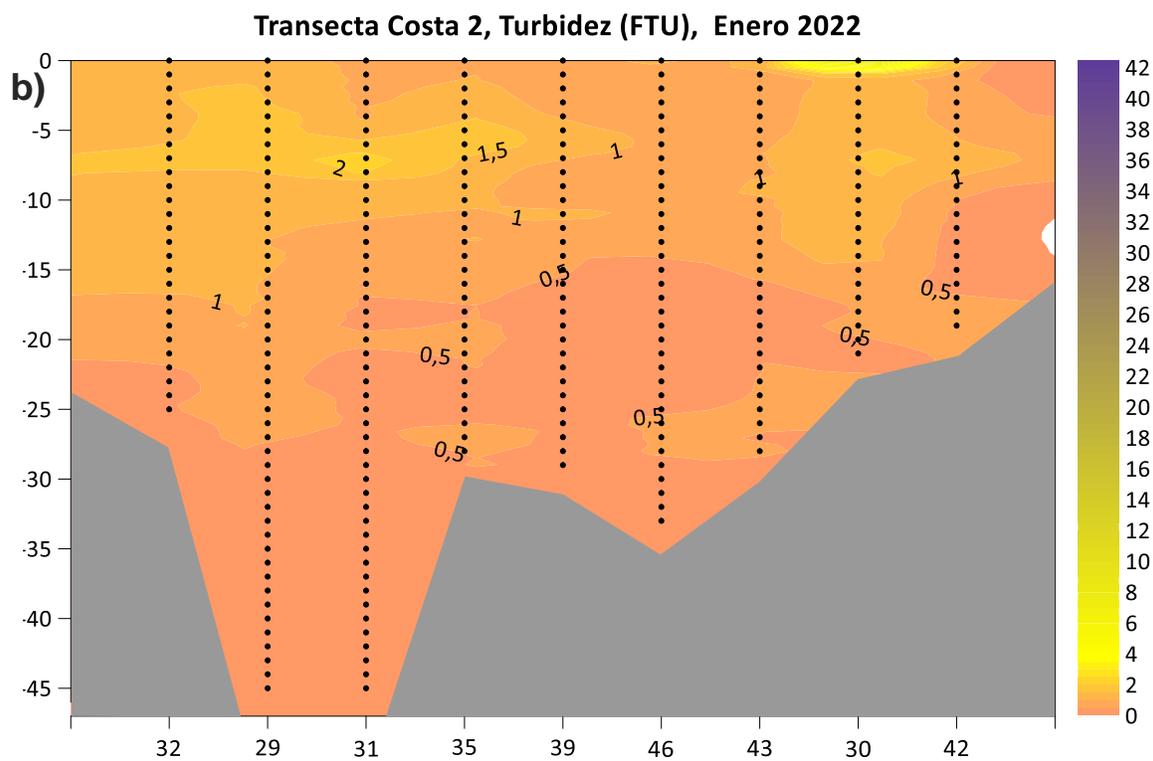
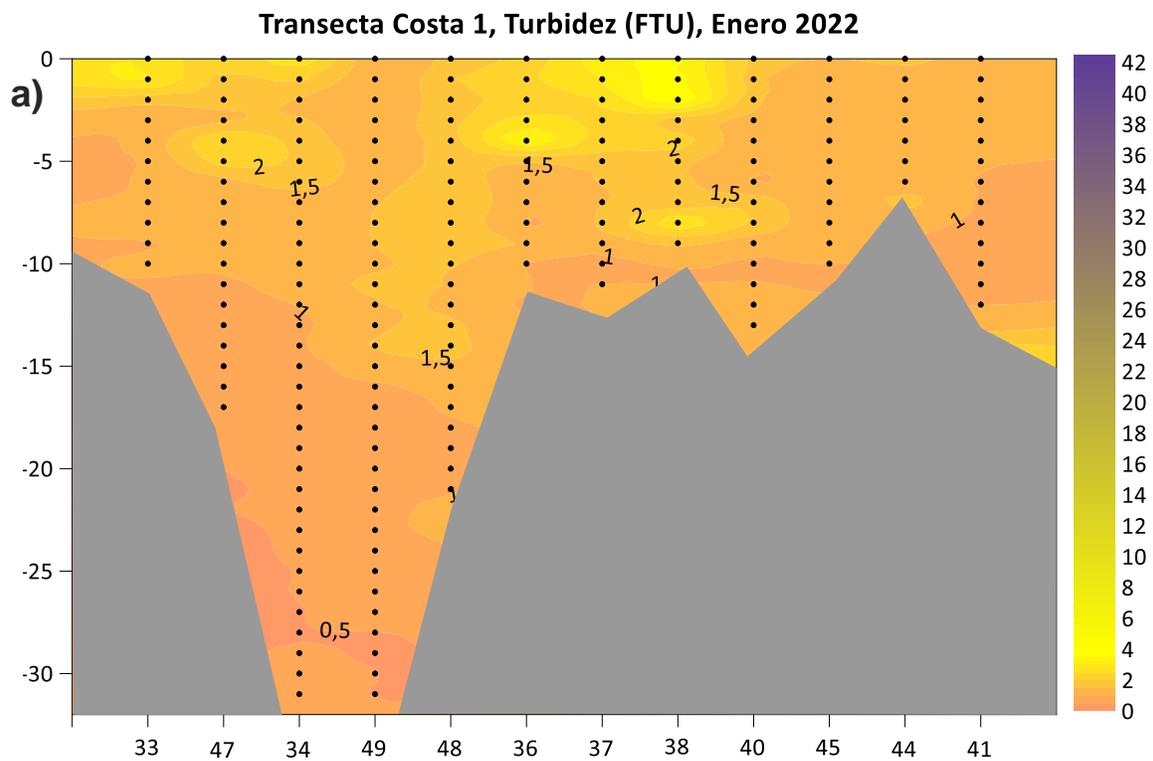


Figura 30. Secciones hidrográficas de turbidez (FTU) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

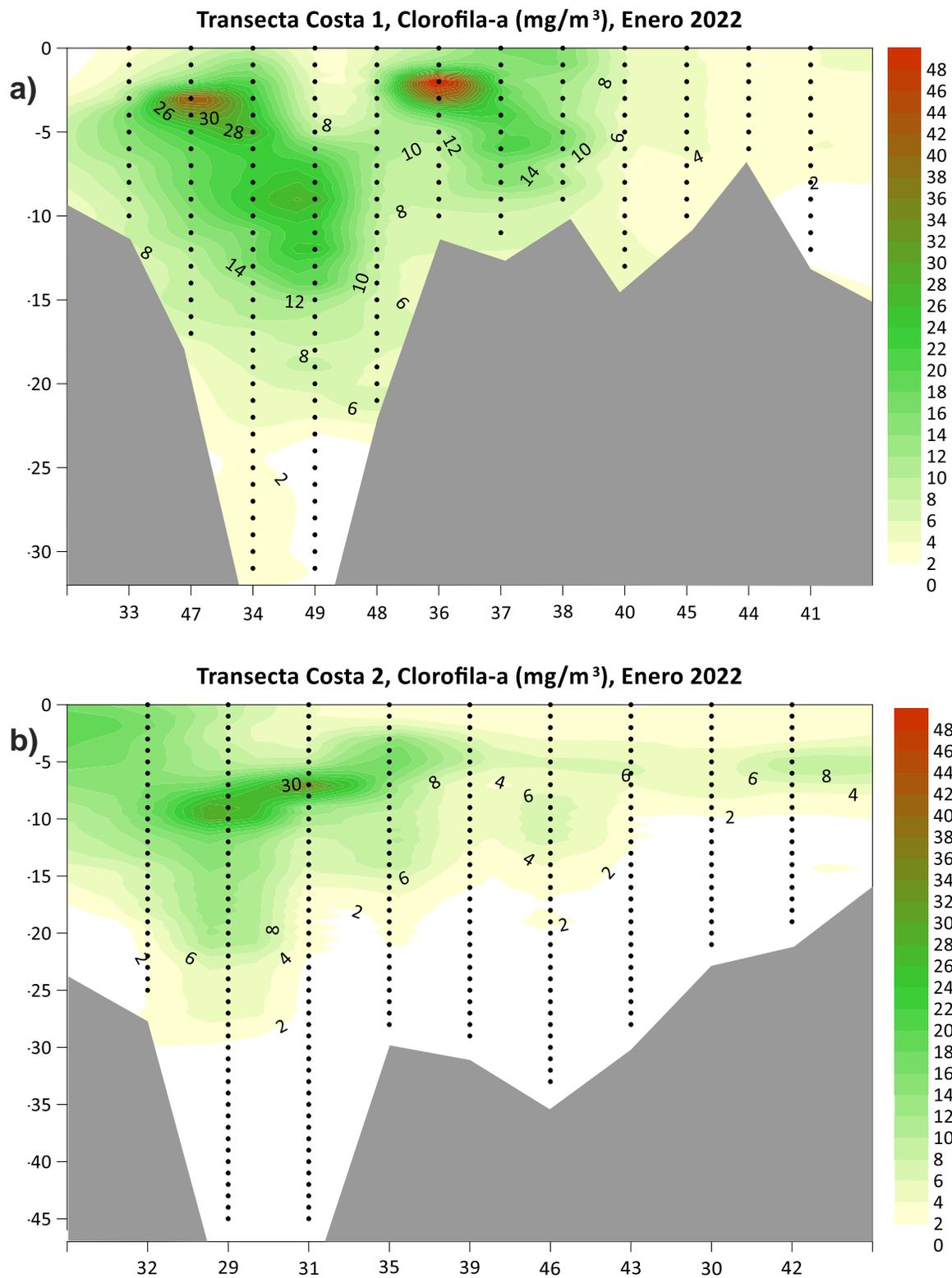


Figura 31. Secciones hidrográficas de clorofila-a (mg m^{-3}) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

4.1.2.2.2 Columna de agua

En la **Tabla 17** se entrega la estadística descriptiva para el total de mediciones de parámetros físico-químicos analizados en columna de agua para la campaña de enero de 2022. Los metales Al y Hg, los detergentes y clorofenoles mostraron el 100% de los datos bajo los límites de detección de laboratorio. Sólo As, V, sólidos suspendidos totales y carbono orgánico total mostraron una distribución de datos cercana a la normal (normtest.p>0,05). El Pb, cloro libre residual y los nutrientes nitrito y nitrato, mostraron una alta variabilidad (cv>100%).

Tabla 17. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en columna de agua submareal. Campaña enero 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%	normtest.W	normtest.p
Aluminio	(µg/l)	26	0,7000	0,7000	0,7000	0,7000	0,0000	0%	-	-
Arsénico	(µg/l)	14	1,1600	1,8200	1,4000	1,4421	0,1981	14%	0,9321	0,3261
Cadmio	(µg/l)	42	0,0400	0,1590	0,0750	0,0754	0,0222	29%	0,9161	0,0045
Mercurio	(µg/l)	42	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,0000	0%	-	-
Plomo	(µg/l)	42	0,0280	0,8630	0,0900	0,1624	0,1721	106%	0,7133	0,0000
Vanadio	(µg/l)	14	1,4600	1,9400	1,5850	1,6171	0,1272	8%	0,8790	0,0562
pH	(-)	42	7,6400	8,3300	8,0450	7,9660	0,2507	3%	0,8538	0,0001
Sólidos Suspendidos Totales	(mg/l)	42	2,0000	7,0000	4,5000	4,4905	1,1109	25%	0,9815	0,7210
Detergentes	(mg/l)	26	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0000	0%	-	-
Oxígeno disuelto	(mg/l)	8	0,4571	15,7143	13,2857	9,9196	6,2061	63%	0,7798	0,0174
Cloro Libre Residual	(mg/l)	14	0,0100	0,8200	0,0600	0,1521	0,2194	144%	0,6395	0,0001
N-Nitrito	(mg/l)	42	0,0030	0,1170	0,0125	0,0329	0,0394	120%	0,7504	0,0000
N-Nitrato	(mg/l)	42	0,0230	0,5720	0,0230	0,1294	0,1589	123%	0,7197	0,0000
N-Amonio	(mg/l)	42	0,0260	0,4190	0,1215	0,1401	0,0984	70%	0,9029	0,0018
Nitrógeno Kjeldahl	(mg/l)	42	0,5000	0,7800	0,5150	0,5631	0,0881	16%	0,7442	0,0000
Nitrógeno disuelto	(mg/l)	42	0,0260	0,6870	0,1885	0,2894	0,2452	85%	0,8399	0,0000
Nitrógeno total	(mg/l)	42	0,0120	1,0980	0,5520	0,5457	0,2821	52%	0,9303	0,0132
Fósforo disuelto	(mg/l)	42	0,0700	0,4450	0,2030	0,2245	0,1168	52%	0,9211	0,0065
Fósforo total	(mg/l)	42	0,0960	0,5890	0,4080	0,3611	0,1584	44%	0,9110	0,0031
Fosfatos	(mg/l)	42	0,0200	0,6110	0,1230	0,2086	0,1902	91%	0,8442	0,0000
Indice de Fenol	(mg/l)	42	0,0010	0,0070	0,0010	0,0022	0,0018	83%	0,7010	0,0000
AOX	(µg/l)	42	32,5100	44,5900	40,6100	40,2110	3,2880	8%	0,9314	0,0144
Hidrocarburos Totales	(µg/l)	42	0,2040	2,8290	0,7875	0,9545	0,6599	69%	0,8813	0,0004
Carbono Orgánico Total	(mg/l)	42	0,5900	2,8400	1,4550	1,3981	0,5251	38%	0,9518	0,0747
Clorofenoles	(µg/l)	10	0,0060	0,0060	0,0060	0,0060	0,0000	0%	-	-

El análisis boxplot para las concentraciones de metales observadas por zona (**Figura 32**), reveló que el arsénico, medido en la zona 2, osciló entre 1,16 y 1,82 $\mu\text{g/l}$. El cadmio mostró un rango de variación que osciló entre 0,04 y 0,16 $\mu\text{g/l}$, con mayores concentraciones en la zona 2. El plomo mostró concentraciones máximas de 0,86 $\mu\text{g/l}$, con mayores concentraciones en las zonas 1 y 2. Finalmente, vanadio mostró concentraciones que en la zona 2 oscilaron entre 1,46 y 1,94 $\mu\text{g/l}$.

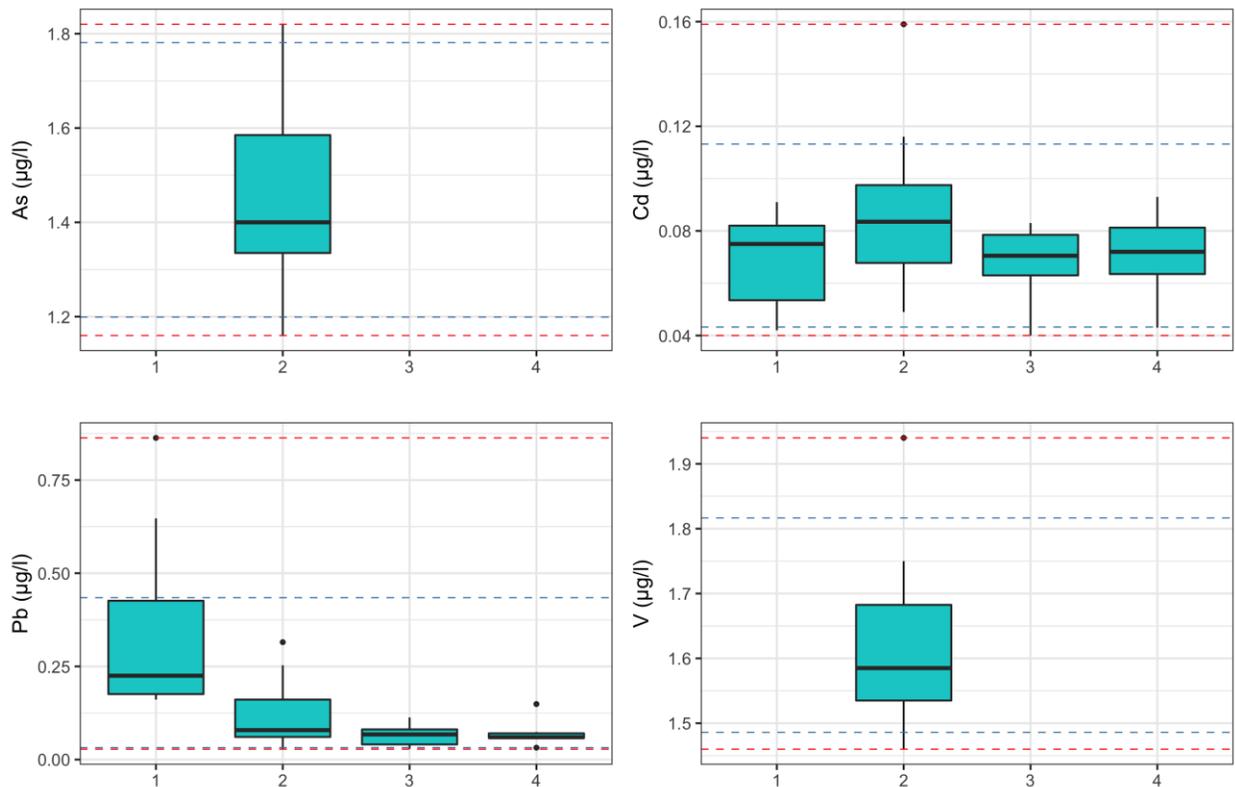


Figura 32. Boxplots para las concentraciones observadas de metales As, Cd, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.

Los parámetros pH, sólidos suspendidos totales y oxígeno disuelto mostraron una alta variabilidad, con baja diferenciación entre zonas, aunque en el caso del oxígeno, destaca una concentración promedio más alta en la zona 3 (**Figura 33**). El cloro libre residual, medido en la zona 2, muestra la mayor proporción de las concentraciones bajo 0,2 $\mu\text{g/l}$, con registros atípicos que superan los 0,3 $\mu\text{g/l}$.

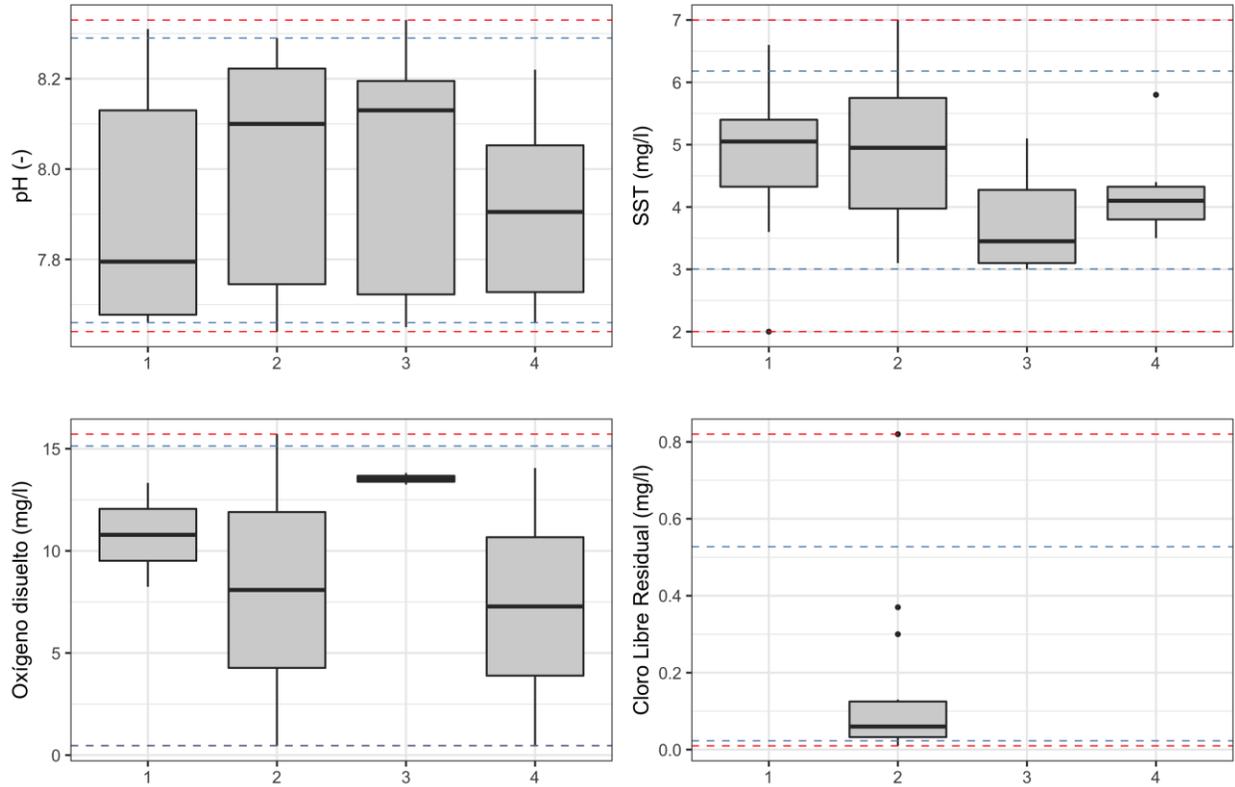


Figura 33. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST); Oxígeno disuelto y Cloro Libre Residual por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.

Los nutrientes mostraron una alta variabilidad en la mayoría de las zonas evaluadas, destacando mayores concentraciones de nitratos en la zona 1, nitrógeno total en la zona 3 y de amonio en la zona 4 (**Figura 34**). El fósforo disuelto y los fosfatos no muestran diferenciación entre zonas (**Figura 35**), mientras que en el caso del fósforo total se observan concentraciones más altas en las zonas 1 y 4.

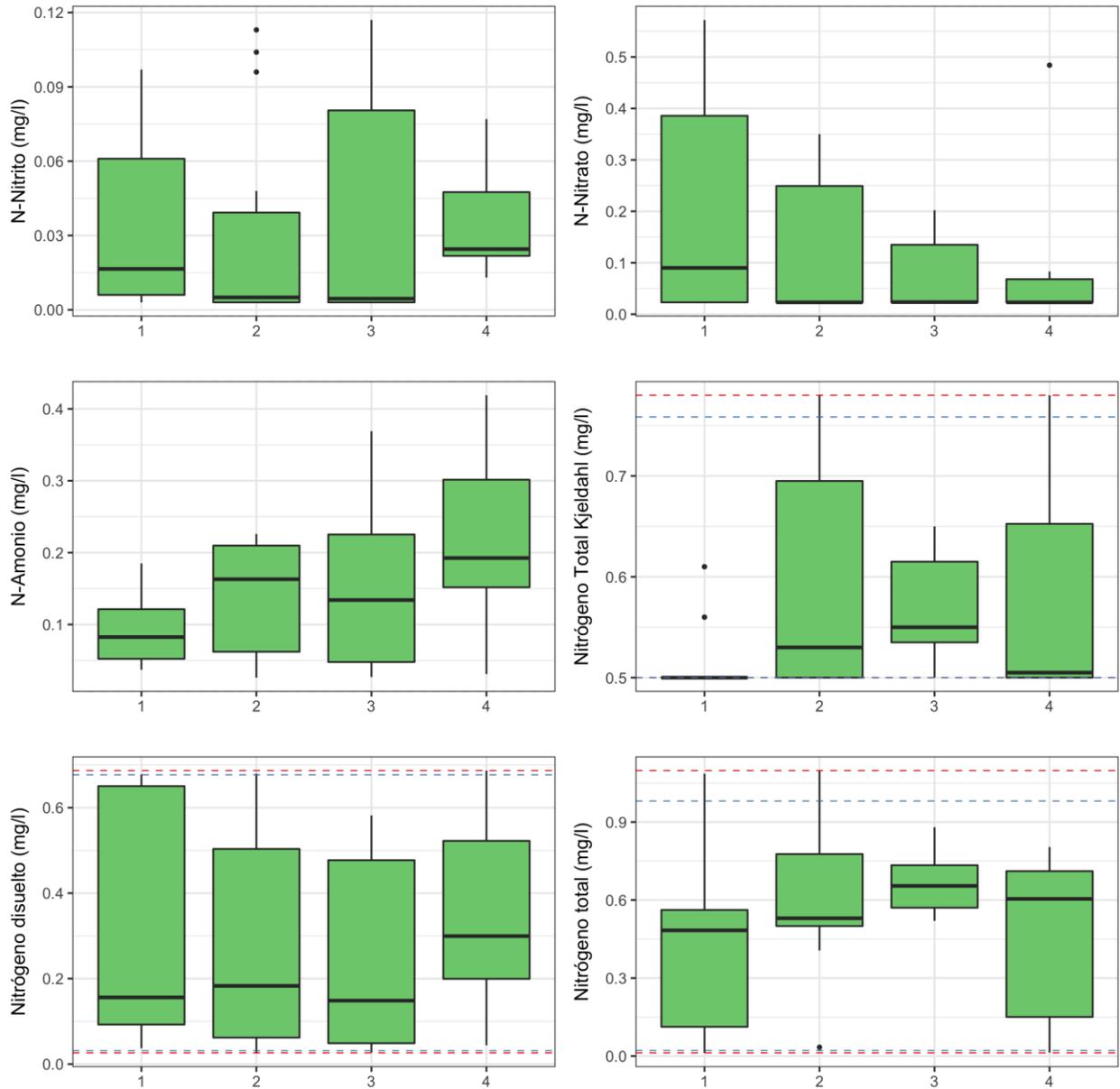


Figura 34. Boxplots para las concentraciones observadas de los nutrientes N-Nitrito, N-Nitrato, N-Amonio, Nitrógeno Total Kjeldahl, Nitrógeno disuelto y Nitrógeno total por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.

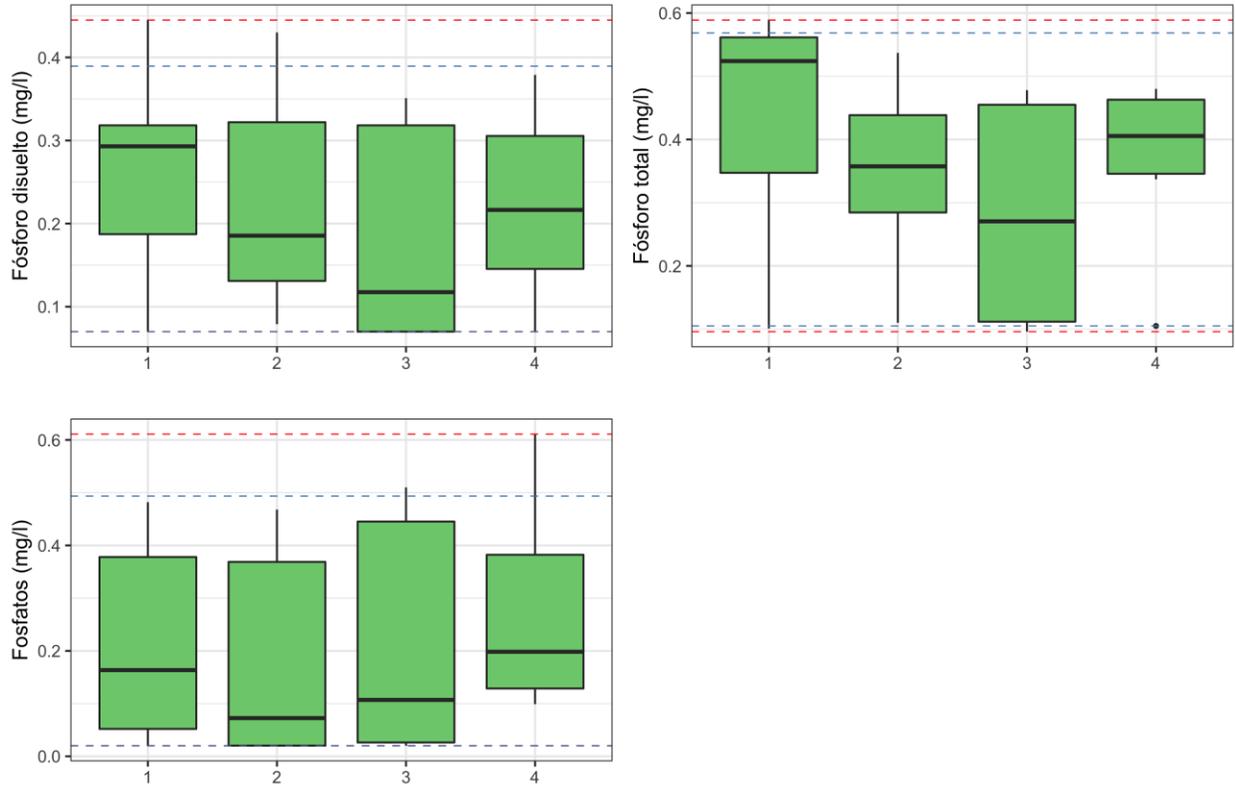


Figura 35. Boxplots para las concentraciones observadas de los nutrientes Fósforo disuelto, Fósforo total y Fosfatos por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.

En el caso de los compuestos orgánicos, se observó una mayor concentración AOX y en la Zona 3 y mayor carbono orgánico total en la Zona 2 (**Figura 36**).

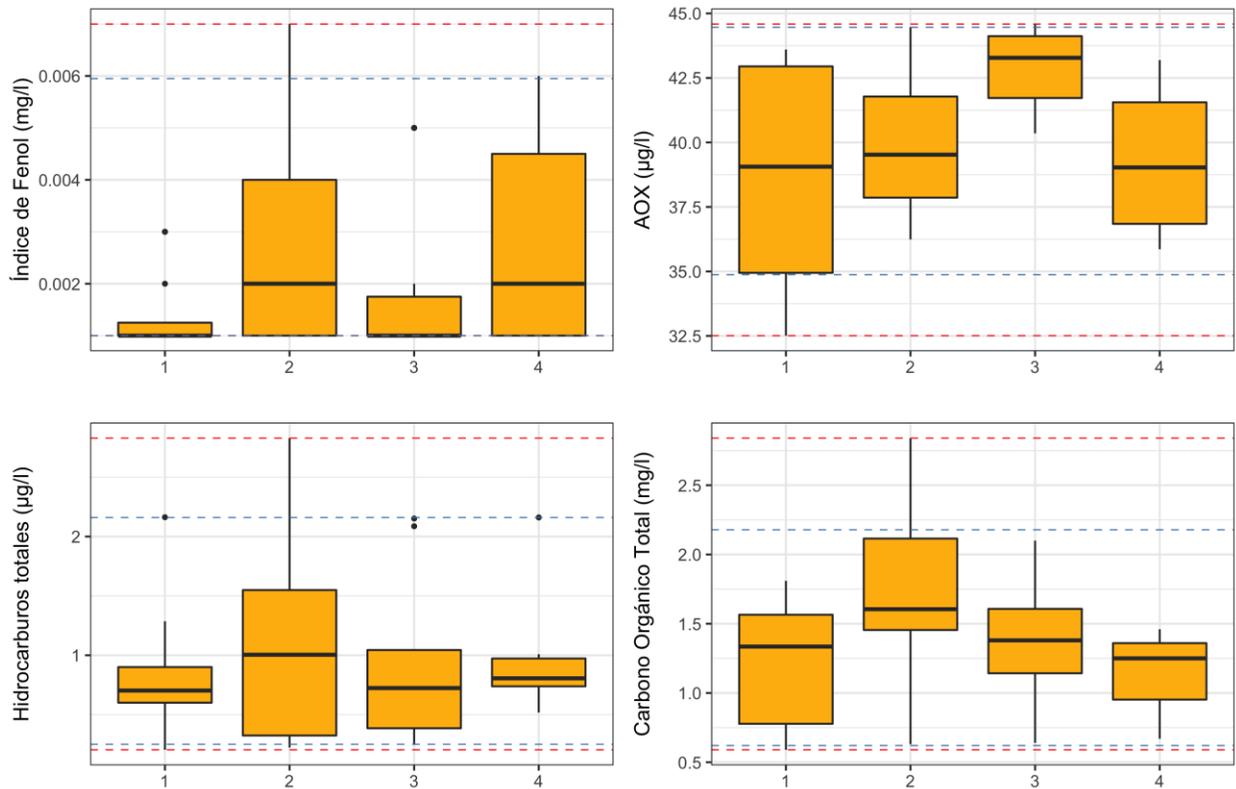


Figura 36. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros orgánicos, índice de Fenol, AOX, Hidrocarburos totales y Carbono Orgánico Total por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.

4.1.2.2.3 Sedimentos

El análisis de la granulometría de sedimentos submareales por zona revela una mayor variabilidad en la composición granulométrica de las Zonas 1 y 2, con una mayor proporción de arenas finas y medias en las Zonas 3 y 4 (**Figura 37**). La fracción fina (limos) alcanza una mayor representatividad en las Zonas 1, 2 y 3, estando prácticamente ausente en la Zona 4.

El análisis de los estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físicoquímicos medidos en sedimentos revela que EOX mostró el 100% de los registros bajo el límite de detección (**Tabla 18**) y que los parámetros Cd, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox mostraron la mayor variabilidad ($cv > 95\%$).

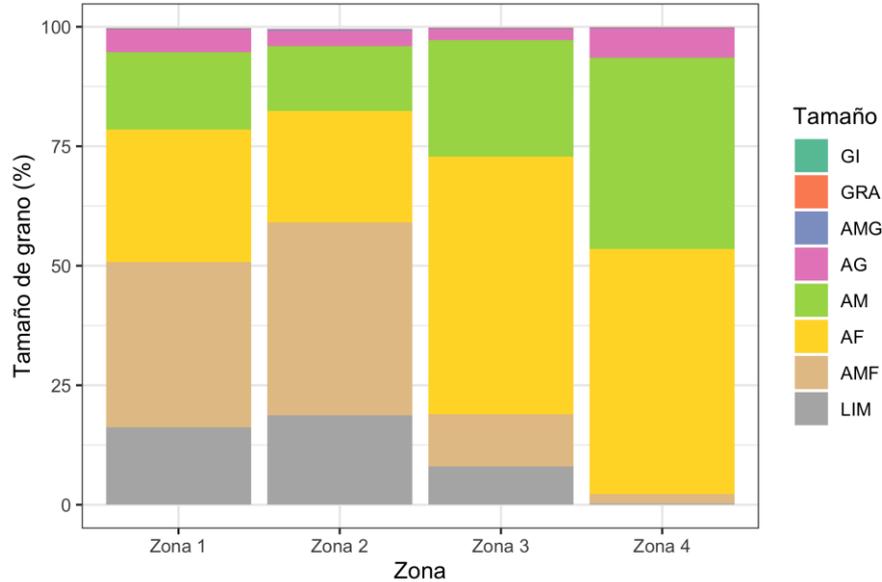


Figura 37. Composición granulométrica promedio de sedimentos submareales por zona de muestreo. Campaña enero 2022. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Gujarro.

Tabla 18. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos submareales. Campaña enero 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%	normtest.W	normtest.p
Aluminio	(µg/g)	13	32467	88811	67901	64054	17100	27%	0,9643	0,8179
Arsénico	(µg/g)	7	9,180	21,070	15,600	15,111	3,739	25%	0,9808	0,9632
Cadmio	(µg/g)	21	0,017	3,876	0,477	0,872	0,984	113%	0,8196	0,0013
Mercurio	(µg/g)	21	0,002	0,225	0,102	0,097	0,073	75%	0,9351	0,1739
Plomo	(µg/g)	21	2,792	16,813	8,520	9,619	5,274	55%	0,8724	0,0106
Vanadio	(µg/g)	7	70,00	134,59	124,93	108,90	27,64	25%	0,8128	0,0547
AOX	(µg/g)	21	29,80	198,38	95,09	103,00	50,90	49%	0,9524	0,3784
EOX	(µg/g)	5	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0%	-	-
Carbono Orgánico Total	(%)	21	0,090	6,400	1,290	2,135	2,028	95%	0,8719	0,0104
Hidrocarburos Totales	(µg/g)	21	0,311	96,283	10,847	28,245	32,034	113%	0,8234	0,0015
Potencial Redox	(mV)	21	-291,30	227,10	-117,30	-85,78	142,40	-166%	0,9099	0,0547

El análisis boxplot para las concentraciones medidas por zona revela, en general, mayores concentraciones de Al y Hg en la Zona 1 (**Figura 38**) y mayores concentraciones de Cd, Pb, AOX, carbono orgánico total e hidrocarburos totales en la Zona 2 (**Figuras 38 y 39**), siendo en la Zona 4 donde se observan las menores concentraciones para el total de parámetros comparables

(Figuras 38 y 39). El potencial redox mostró una alta variabilidad en la Zona 1 y resultó más alto (positivo) en la Zona 4.

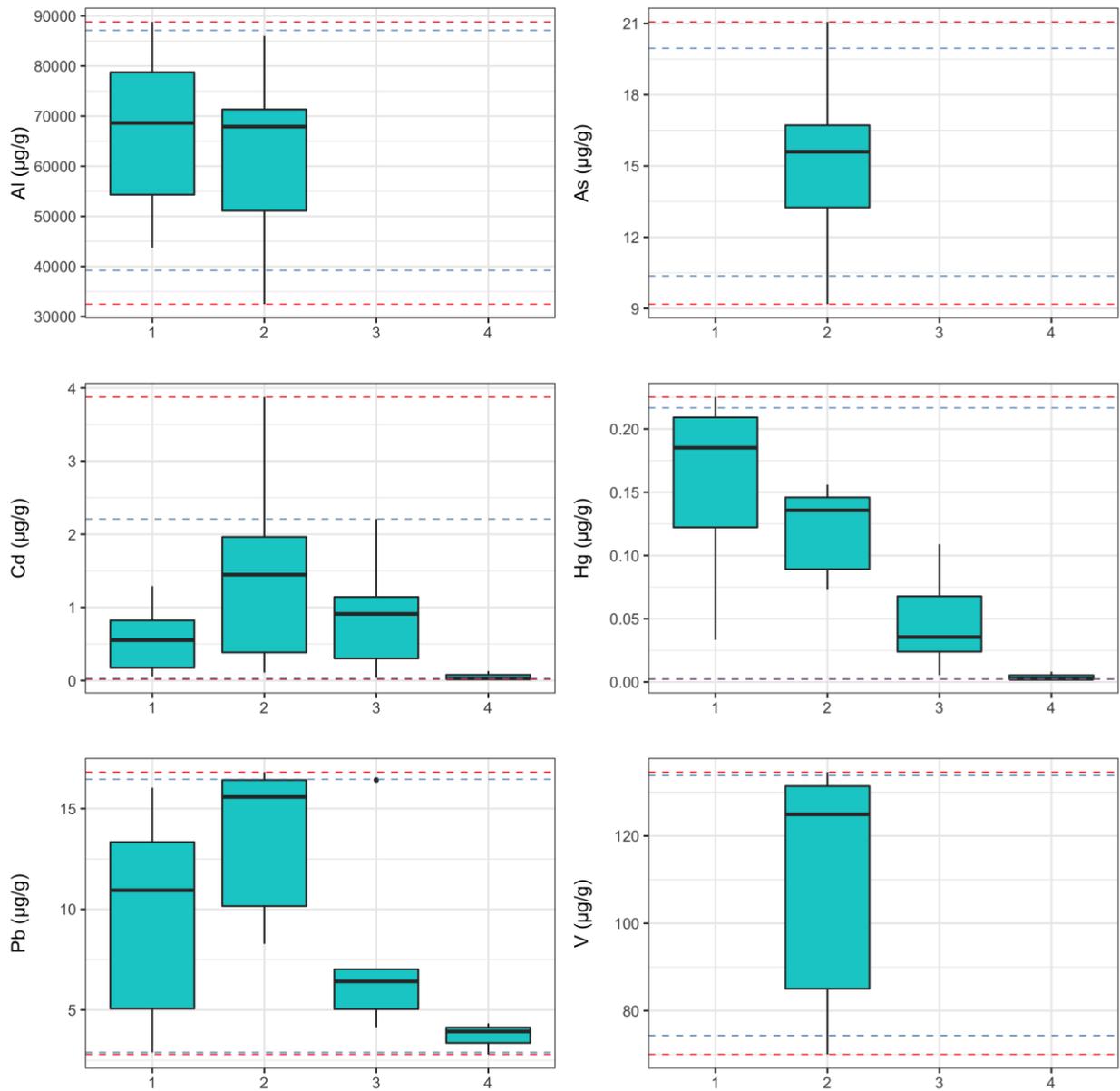


Figura 38. Boxplots para las concentraciones observadas de los metales Al, As, Cd, Hg, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.

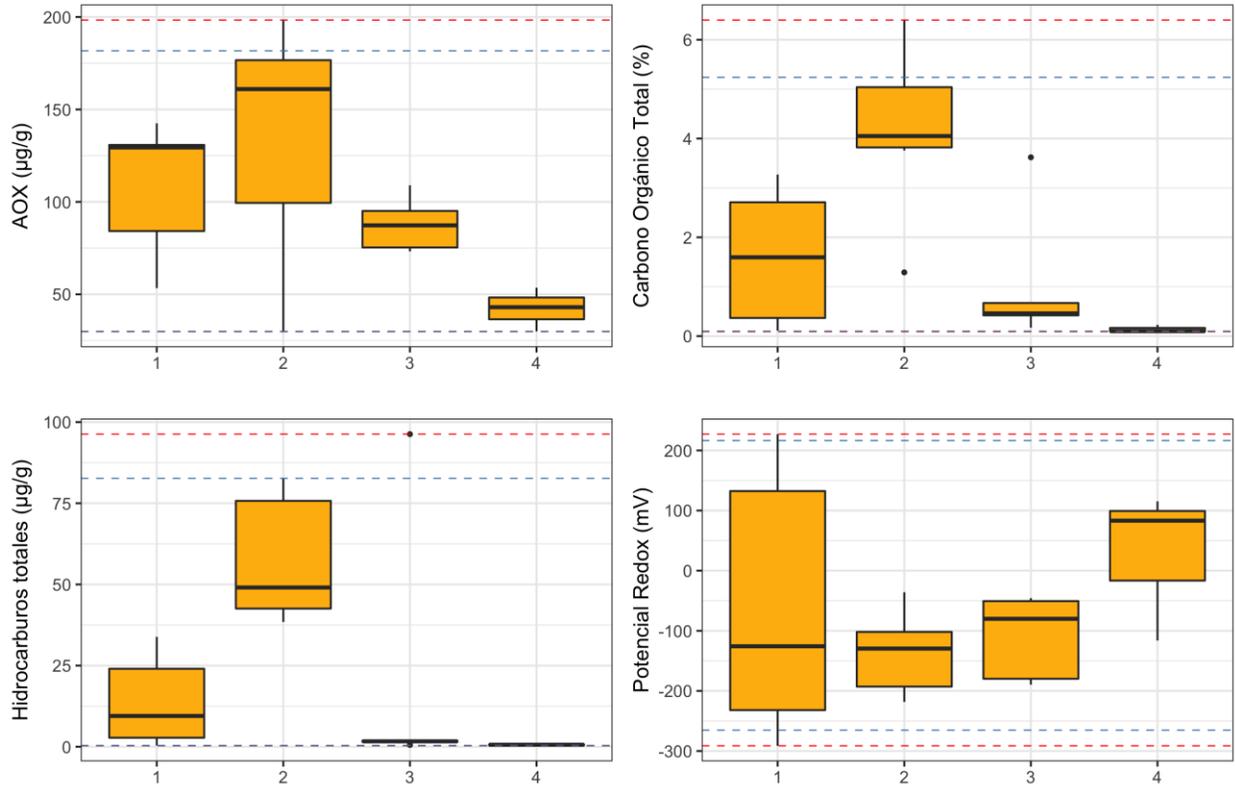


Figura 39. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros AOX, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.

Estos resultados permiten establecer que en el submareal la columna de agua mostró menor diferenciación espacial que los sedimentos, con menores niveles de oxígeno disuelto y mayores concentraciones de Pb y nitrato en la Zona 1 y mayores concentraciones de amonio en la Zona 4. En sedimentos se observó mayores concentraciones de Cd, Pb, AOX, carbono orgánico total e hidrocarburos totales en la Zona 2.

4.1.2.3 Ambiente intermareal

4.1.2.3.1 Sedimentos

El análisis de la granulometría de los sedimentos intermareales muestra una mayor proporción de arenas gruesas en las Zonas 1 y 2 con un incremento gradual de la proporción de arenas finas en las Zonas 3 y 4 (**Figura 40**).

El análisis de los estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físicoquímicos medidos en sedimentos revela que EOX mostró el 100% de los registros bajo el límite de detección (**Tabla 19**) y que los parámetros Hg, Carbono Orgánico Total e Hidrocarburos totales mostraron una alta variabilidad ($cv > 130\%$).

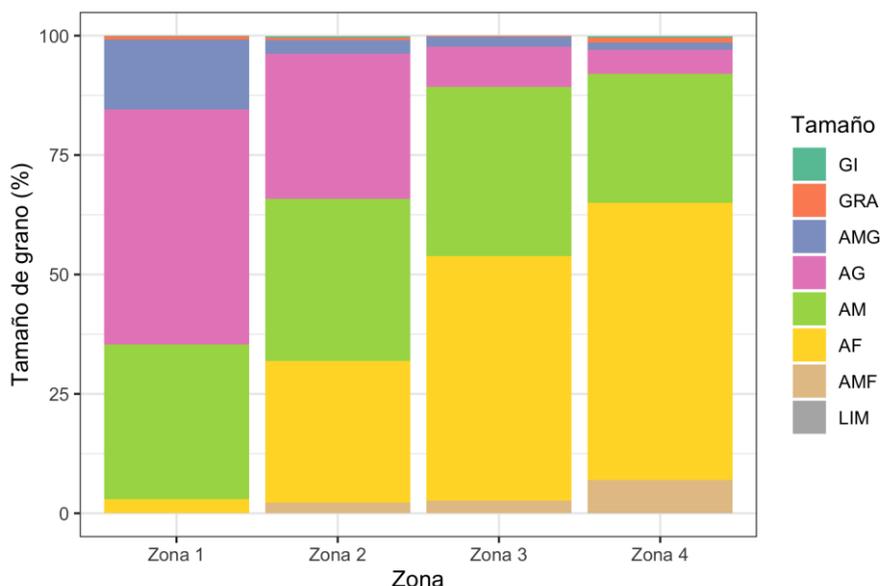


Figura 40. Composición granulométrica promedio de sedimentos intermareales por zona de muestreo. Campaña enero 2022. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Gujarro.

Tabla 19. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos intermareales. Campaña enero 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%	normtest.W	normtest.p
Aluminio	($\mu\text{g/g}$)	12	16924	37611	32007	29476	7632	26%	0,8582	0,0465
Arsénico	($\mu\text{g/g}$)	7	1,500	10,120	4,030	4,936	3,492	71%	0,8784	0,2195
Cadmio	($\mu\text{g/g}$)	19	0,017	0,038	0,021	0,023	0,006	25%	0,8350	0,0039
Mercurio	($\mu\text{g/g}$)	19	0,000	0,035	0,003	0,005	0,008	163%	0,5154	0,0000
Plomo	($\mu\text{g/g}$)	19	1,672	6,105	2,455	3,268	1,468	45%	0,8689	0,0138
Vanadio	($\mu\text{g/g}$)	7	50,00	97,94	57,85	72,02	23,00	32%	0,7610	0,0165
AOX	($\mu\text{g/g}$)	19	21,38	89,27	42,87	51,77	20,17	39%	0,9133	0,0853
EOX	($\mu\text{g/g}$)	4	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0%	-	-
Carbono Orgánico Total	(%)	19	0,030	0,600	0,050	0,113	0,149	132%	0,6182	0,0000
Hidrocarburos Totales	($\mu\text{g/g}$)	19	0,460	37,031	1,018	3,815	8,527	224%	0,4309	0,0000
Potencial Redox	(mV)	19	152,20	236,90	185,70	185,21	21,01	11%	0,9689	0,7537

El análisis boxplot para las concentraciones medidas por zona revela, en general, mayores concentraciones de Al y AOX en la Zona 1, mayores concentraciones de Hg, Pb, carbono orgánico total e hidrocarburos totales en la Zona 2 y mayores niveles de potencial redox en la Zona 4 (Figuras 41 y 42).

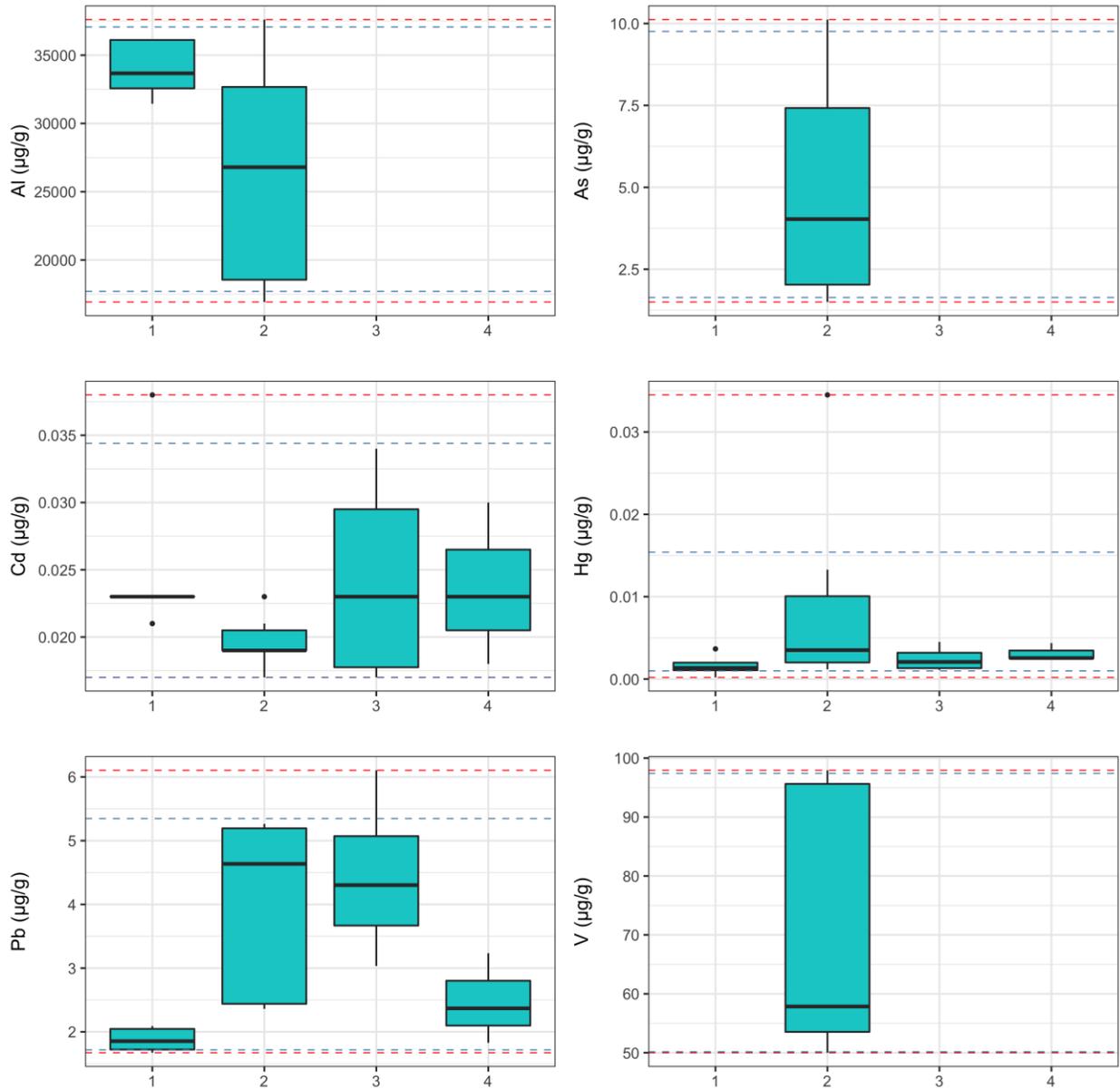


Figura 41. Boxplots para las concentraciones observadas de los metales Al, As, Cd, Hg, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.

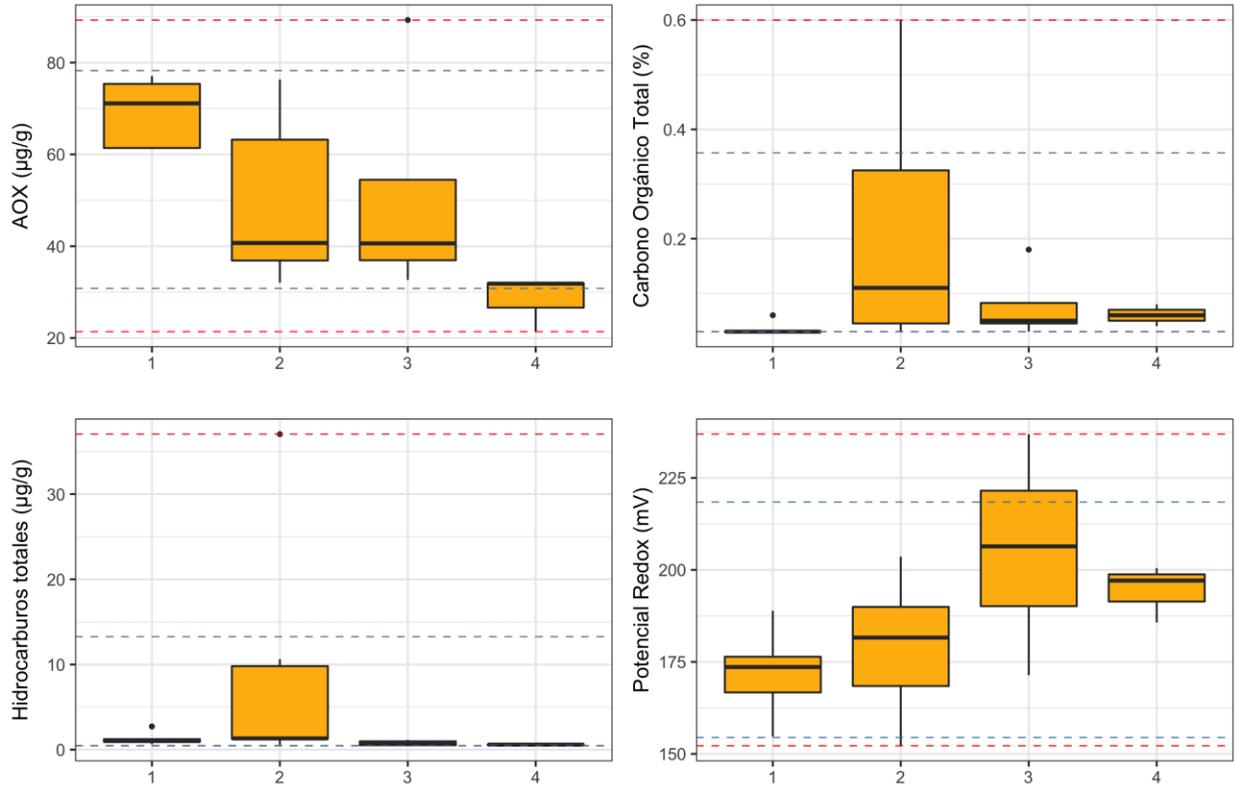


Figura 42. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros AOX, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña enero 2022.

4.1.3 Campaña agosto 2022

4.1.3.1 Ambiente Estuario

4.1.3.1.1 Agua

En la **Tabla 20** se entrega la estadística descriptiva para las concentraciones observadas de cada parámetro medido en las 2 estaciones de muestreo dispuestas en la desembocadura del río Biobío. El Cd, Hg y los detergentes mostraron el 100% de los datos bajo los límites de detección de laboratorio. Destaca la alta variabilidad observada en la concentración de nitrito y amonio, que mostraron coeficientes de variación (cv%) superiores al 80%. Dado el bajo número de observaciones (N=2), no resulta factible la estimación de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks.

Tabla 20. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para la caracterización de las concentraciones observadas en agua de la desembocadura del río Biobío. Campaña agosto 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%
Aluminio	(µg/l)	2	215,92	250,86	233,39	233,39	24,71	11%
Cadmio	(µg/l)	2	0,0150	0,0150	0,0150	0,0150	0,0000	0%
Mercurio	(µg/l)	2	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,0000	0%
Plomo	(µg/l)	2	0,1540	0,3210	0,2375	0,2375	0,1181	50%
pH	(-)	2	7,4200	7,5800	7,5000	7,5000	0,1131	2%
Sólidos Suspendidos Totales	(mg/l)	2	7,0000	11,7000	9,3500	9,3500	3,3234	36%
Detergentes	(mg/l)	2	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0000	0%
Oxígeno disuelto	(mg/l)	2	5,9700	9,3400	7,6550	7,6550	2,3829	31%
N-Nitrito	(mg/l)	2	0,0050	0,0180	0,0115	0,0115	0,0092	80%
N-Nitrato	(mg/l)	2	0,4490	0,4680	0,4585	0,4585	0,0134	3%
N-Amonio	(mg/l)	2	0,0360	0,7150	0,3755	0,3755	0,4801	128%
Nitrógeno Kjeldahl	(mg/l)	2	0,5200	0,5300	0,5250	0,5250	0,0071	1%
Nitrógeno disuelto	(mg/l)	2	0,5090	1,1820	0,8455	0,8455	0,4759	56%
Nitrógeno total	(mg/l)	2	0,9870	1,0040	0,9955	0,9955	0,0120	1%
Fósforo disuelto	(mg/l)	2	0,1110	0,1570	0,1340	0,1340	0,0325	24%
Fósforo total	(mg/l)	2	0,3580	0,4170	0,3875	0,3875	0,0417	11%
Fosfatos	(mg/l)	2	0,0910	0,2670	0,1790	0,1790	0,1245	70%
Indice de Fenol	(mg/l)	2	0,0010	0,0021	0,0016	0,0016	0,0008	50%
AOX	(µg/l)	2	25,4800	36,4100	30,9450	30,9450	7,7287	25%
Hidrocarburos Totales	(µg/l)	2	0,6220	1,3930	1,0075	1,0075	0,5452	54%
Carbono Orgánico Total	(mg/l)	2	1,0700	1,4900	1,2800	1,2800	0,2970	23%

4.1.3.1.2 Sedimentos

Durante la campaña de agosto de 2022, los sedimentos de la zona de la desembocadura mostraron una composición granulométrica dominada por arenas medias, con una mayor proporción de arenas finas y gruesas en la Estación 1 (**Figura 23**).

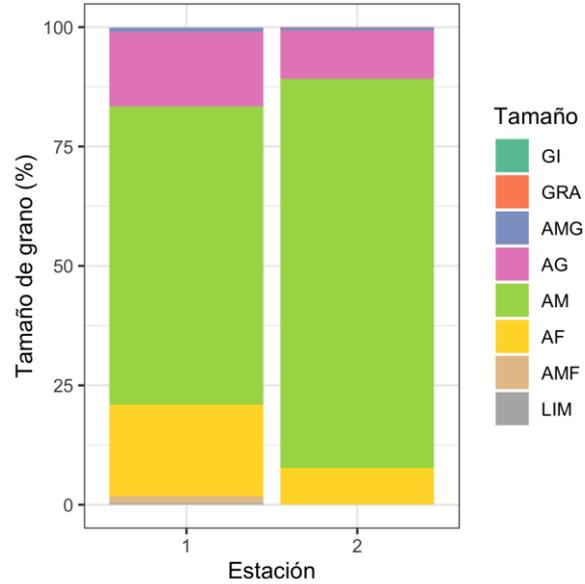


Figura 43. Composición granulométrica observada por estación de muestreo en la desembocadura del río Biobío. Campaña agosto 2022. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Gujjarro.

En la **Tabla 21** se entrega la estadística descriptiva para las muestras de sedimentos en la zona estuarina. En este caso, la mayoría de los parámetros mostraron baja variabilidad, destacando el Pb que mostró un coeficiente de variación de 50%. Dado el bajo número de observaciones (N=2), no fue factible la estimación de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks.

Tabla 21. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para la caracterización de las concentraciones observadas en sedimentos de la desembocadura del río Biobío. Campaña agosto 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%
Aluminio	(µg/g)	2	34764	37825	36294	36294	2164	6%
Cadmio	(µg/g)	2	0,024	0,033	0,029	0,029	0,006	22%
Mercurio	(µg/g)	2	0,002	0,003	0,003	0,003	0,001	40%
Plomo	(µg/g)	2	4,763	9,984	7,374	7,374	3,692	50%
AOX	(µg/g)	2	48,38	52,53	50,46	50,46	2,93	6%
Carbono Orgánico Total	(%)	2	0,090	0,110	0,100	0,100	0,014	14%
Hidrocarburos Totales	(µg/g)	2	0,575	0,873	0,724	0,724	0,211	29%
Potencial Redox	(mV)	2	224,60	242,20	233,40	233,40	12,45	5%

4.1.3.2 Ambiente Submareal

4.1.3.2.1 Hidrografía

En la **Tabla 22** se entrega la estadística descriptiva para el total de observaciones hidrográficas en la campaña de agosto de 2022. Ninguna de las variables analizadas mostró distribución normal (normtest.p<0,05), destacando además la alta variabilidad en el caso de turbidez y clorofila a (cv>140%).

Tabla 22. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros hidrográficos medidos en las estaciones del submareal. Campaña agosto 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%	normtest.W	normtest.p
Temperatura	(°C)	540	9,06	12,75	12,30	12,22	0,31	3%	0,5740	0,0000
Salinidad	(psu)	540	1,75	34,22	33,57	32,72	3,13	10%	0,3903	0,0000
Oxígeno disuelto	(mg/l)	540	3,92	10,91	7,61	7,48	1,21	16%	0,9856	0,0000
Saturación oxígeno	(%)	540	44,33	117,67	86,27	85,00	11,42	13%	0,9852	0,0000
Turbidez	(FTU)	540	0,01	57,03	0,80	1,75	4,13	236%	0,3512	0,0000
Clorofila a	(mg m ⁻³)	490	0,01	12,21	0,99	1,58	2,21	140%	0,6202	0,0000

El análisis de los perfiles verticales para cada parámetro por estación y zona (**Figuras 44 a 46**) revela una baja estratificación en temperatura, con excepción de la Zona 1, destacando además la alta variabilidad de la salinidad superficial en la Zona 1, donde es posible apreciar la influencia del río Biobío en las estaciones 32, 33 y 47 (**Figura 44**). El oxígeno disuelto y la saturación de

oxígeno muestran comportamientos similares (**Figura 45**), observándose en términos generales, concentraciones sobre los 5 mg/l en todas las estaciones de muestreo y a lo largo de toda la columna de agua. Los parámetros turbidez y clorofila-a mostraron una alta variabilidad, especialmente en el caso de la turbidez de fondo, que mostró niveles superiores a 20 FTU (Zona 3; **Figura 46**). La clorofila muestra, como patrón general, incrementos a profundidades menores a 7 metros, particularmente en las Zonas 3 y 4.

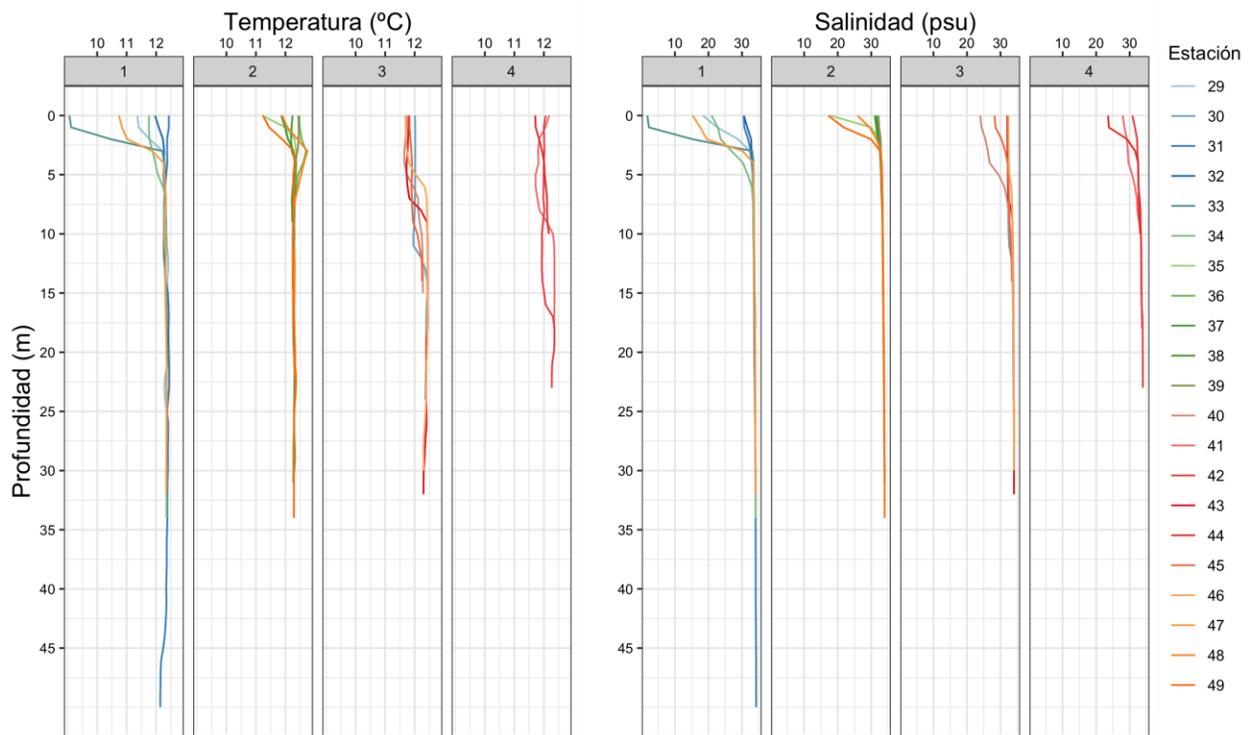


Figura 44. Perfiles de CTDO de temperatura (°C) y salinidad (psu) por zona y estación de muestreo. Campaña agosto 2022.

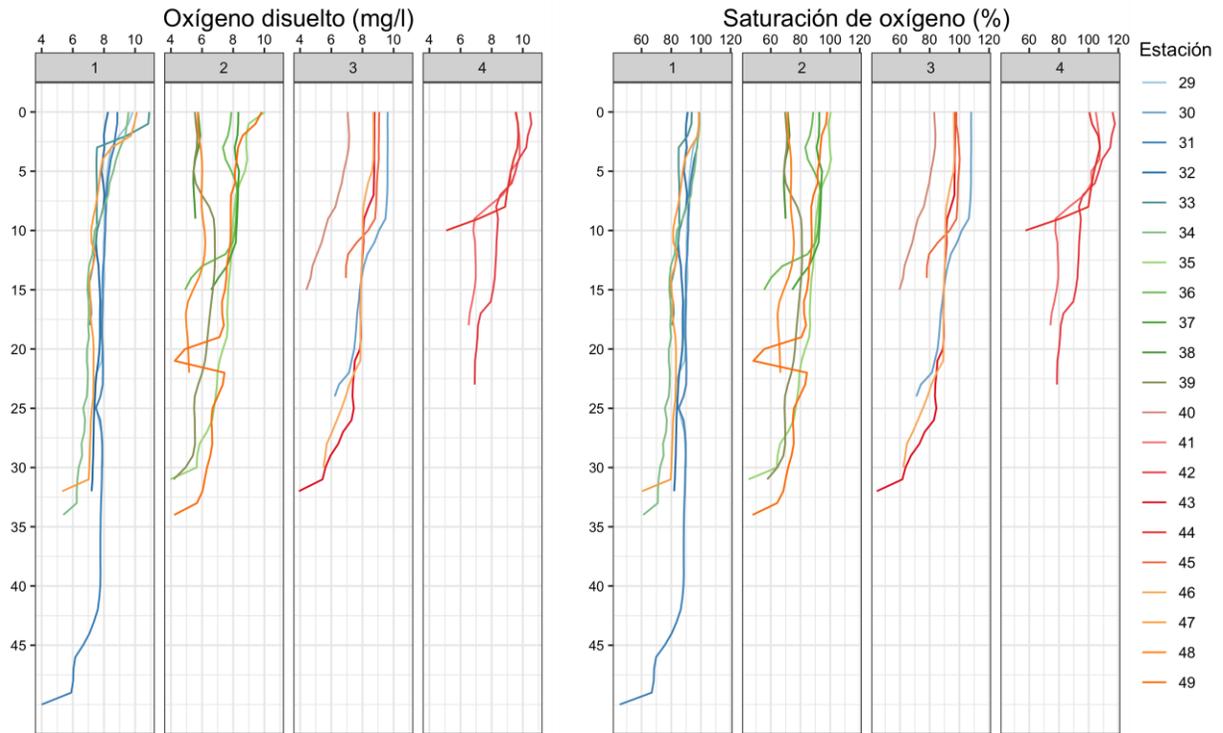


Figura 45. Perfiles de CTDO de oxígeno disuelto (mg/l) y saturación de oxígeno (%) por zona y estación de muestreo. Campaña agosto 2022.

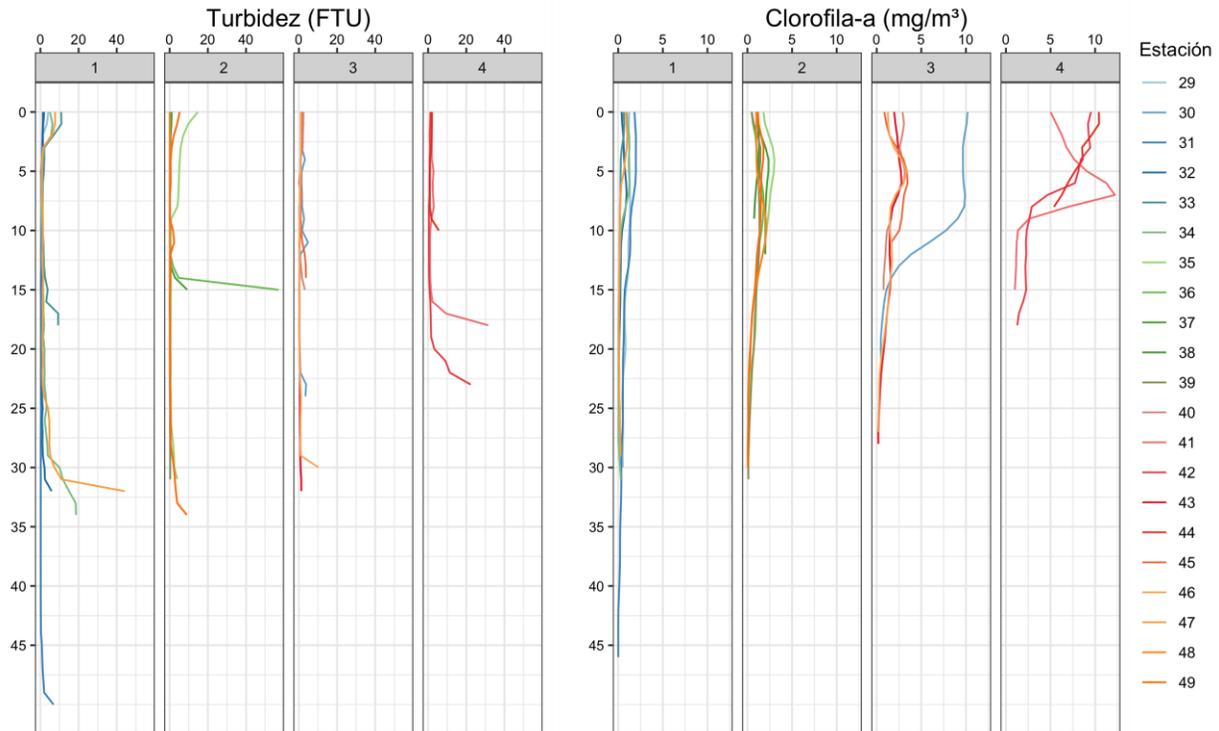


Figura 46. Perfiles de CTDO de turbidez (FTU) y clorofila-a (mg/m^3) por zona y estación de muestreo. Campaña agosto 2022.

En las **Figuras 47 a 51** se entrega un análisis del comportamiento hidrográfico de la columna de agua durante agosto 2022, basado en gráficos de secciones que consideraron 2 transectas que recorren el Golfo de Arauco desde el Norte (desembocadura del Biobío) hasta Punta Lavapié (transecta costera = Transecta 1; transecta más oceánica = Transecta 2). El resultado de este análisis revela una columna de agua homogénea en cuanto a temperatura, con rangos que oscilan entre 10 y 12 °C (**Figura 47**).

La salinidad presentó una alta estratificación marcada en las estaciones más costeras (33, 47, 34, 49) a profundidades inferiores a 5 m, con niveles mínimos de 5 psu (**Figura 48a**). En la transecta más oceánica (**Figura 48b**) se observan salinidades sobre 33 psu, salvo en la transecta 29, donde se observó salinidades más bajas (~25 psu) a 7 m de profundidad.

Ambas transectas mostraron una columna de agua bien oxigenada, oscilando entre 7 y 10 mg/l , con niveles bastante homogéneos a lo largo de toda la columna de agua y en todos los sitios de muestreo (**Figura 49**).

La turbidez presentó valores normalmente inferiores a 2 FTU, salvo en el caso de las zonas más profundas, donde llegó a alcanzar más de 40 FTU en la estación 36 (Zona 2) (**Figura 50**). Adicionalmente, en las estaciones de la transecta costera (**Figura 50a**) se observó niveles de turbidez más altos en las estaciones 33, 47 y 34 (Zona 1).

La clorofila-a mostró concentraciones muy bajas, normalmente inferiores a 8 mg/m³ en toda la columna de agua, destacando algunos peaks menores en las estaciones costeras 30 (Zona 3) y 42 (Zona 4) (**Figura 51**).

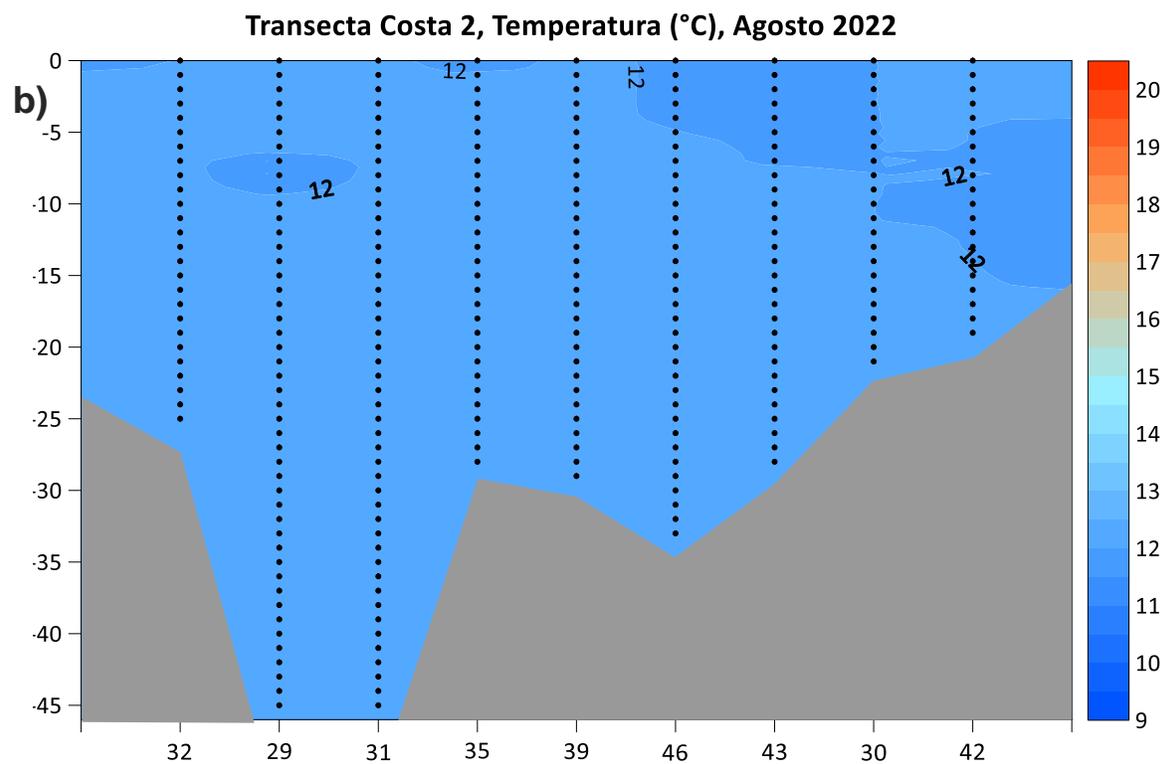
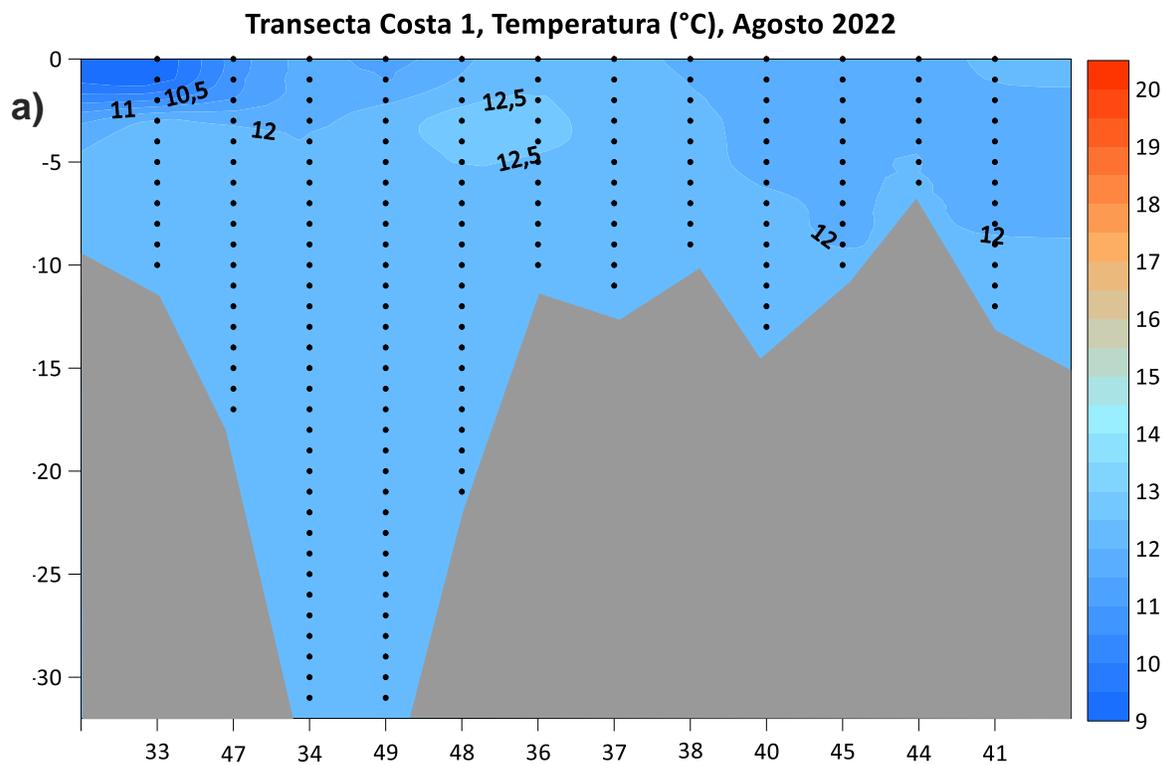


Figura 47. Secciones hidrográficas de temperatura (°C) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

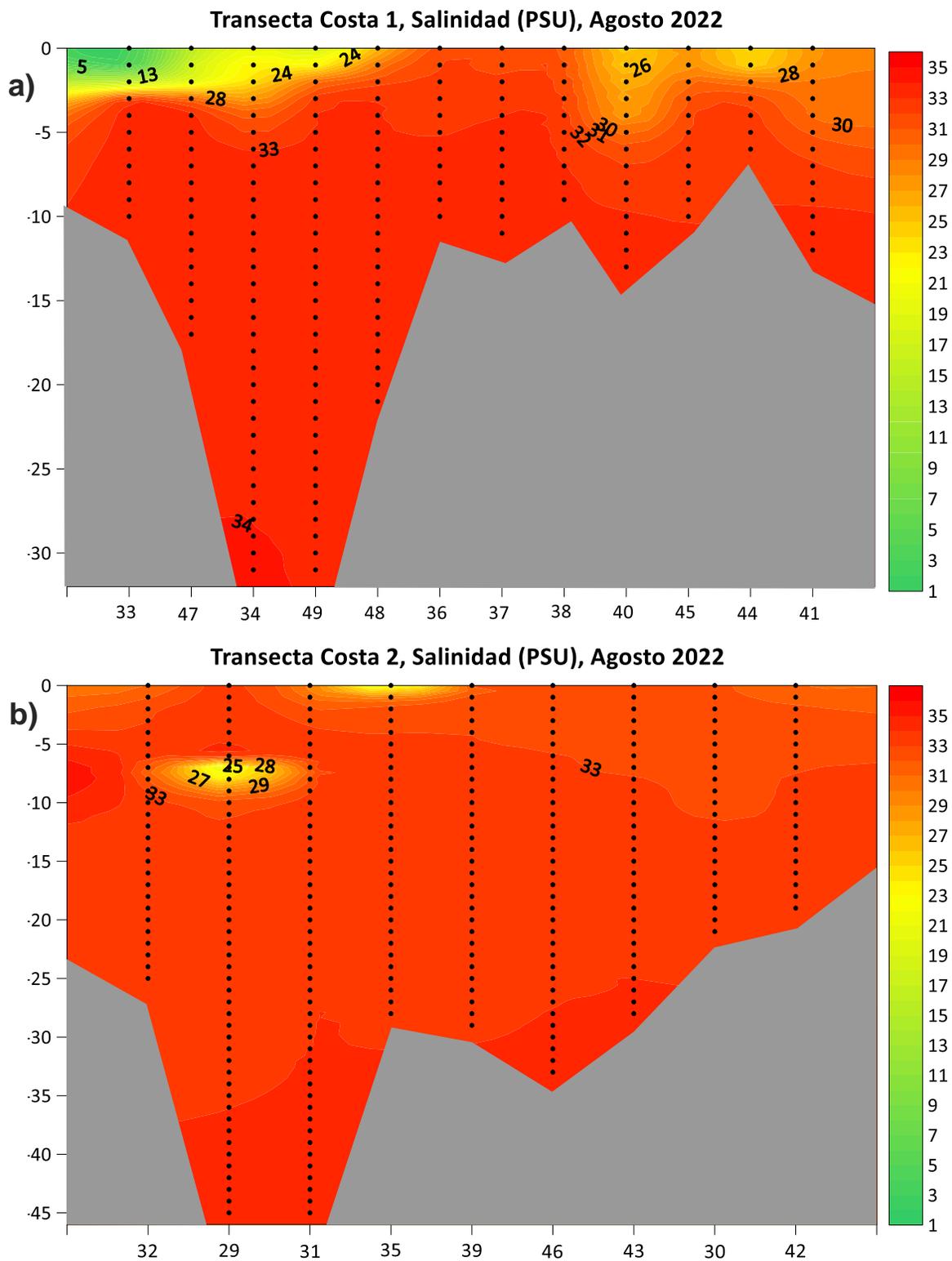


Figura 48. Secciones hidrográficas de salinidad (PSU) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

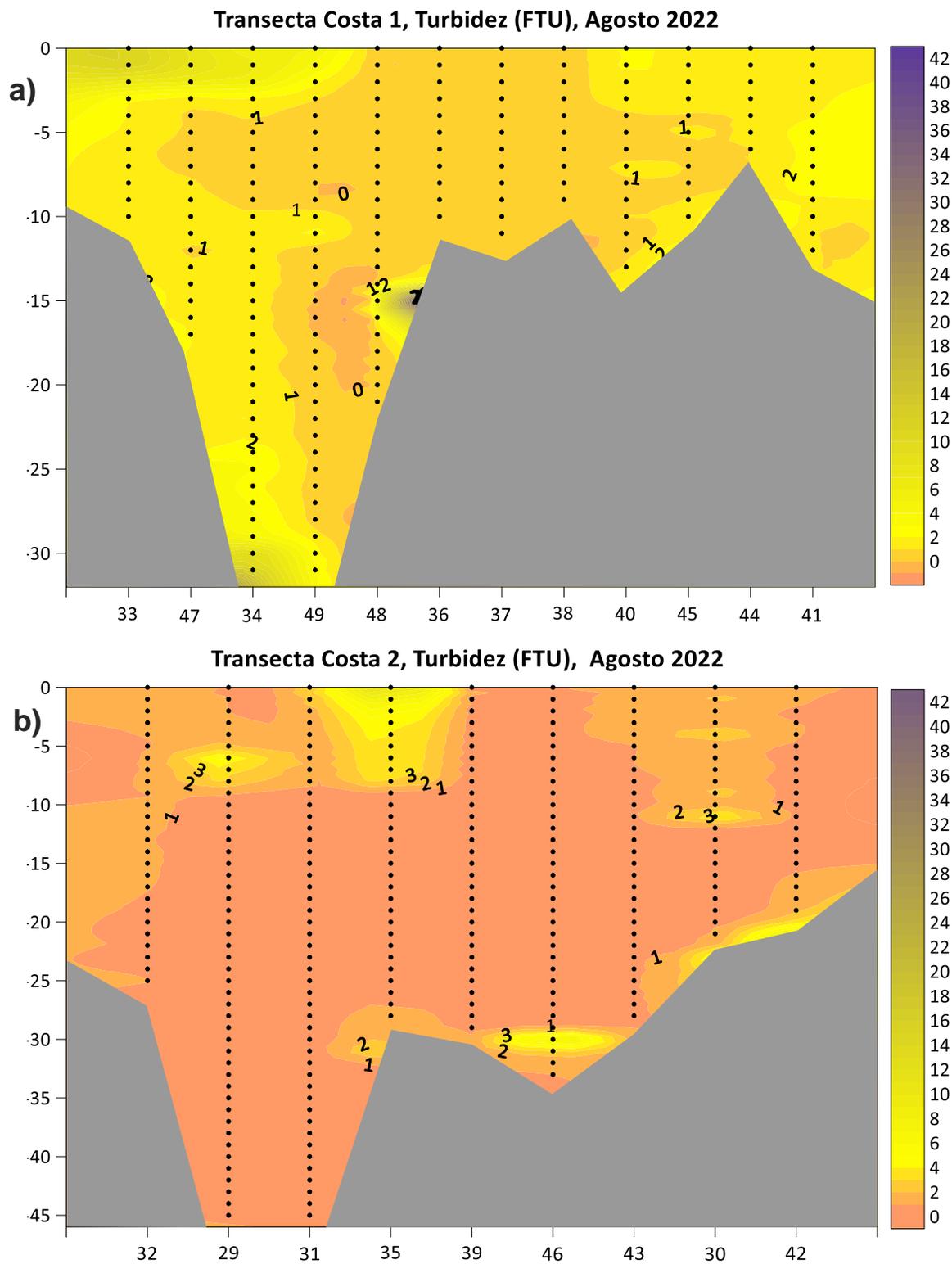


Figura 50. Secciones hidrográficas de turbidez (FTU) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

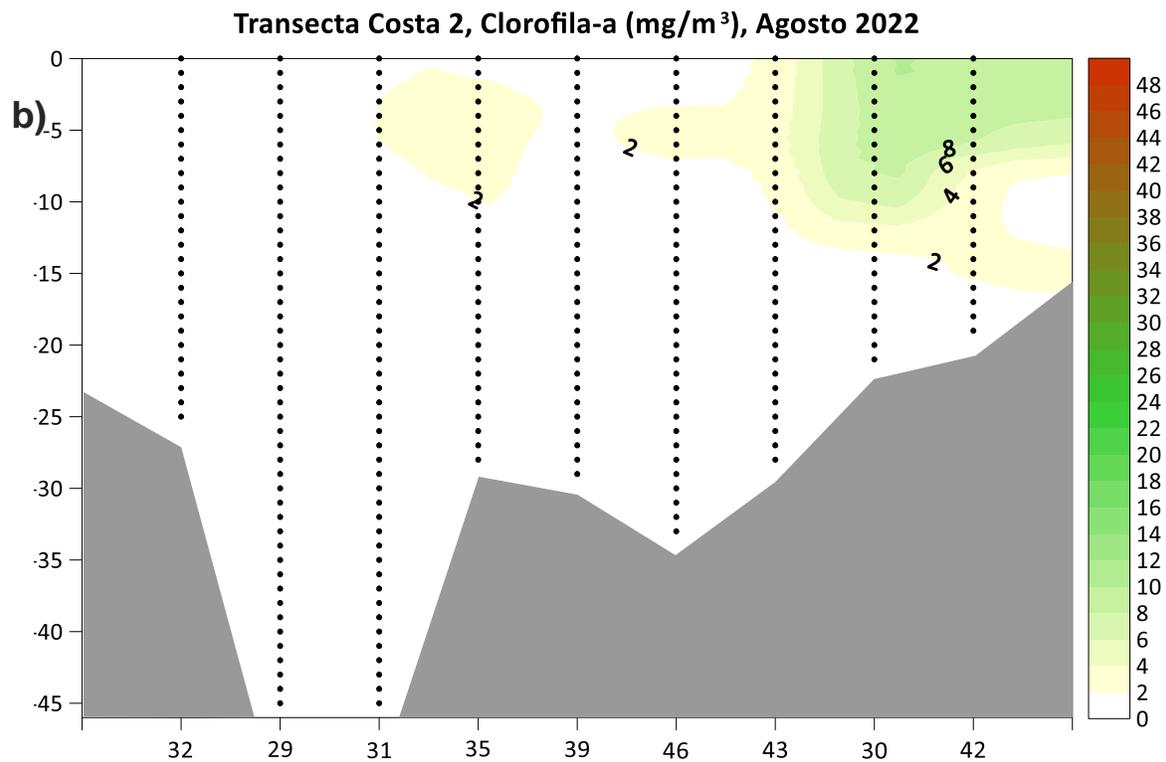
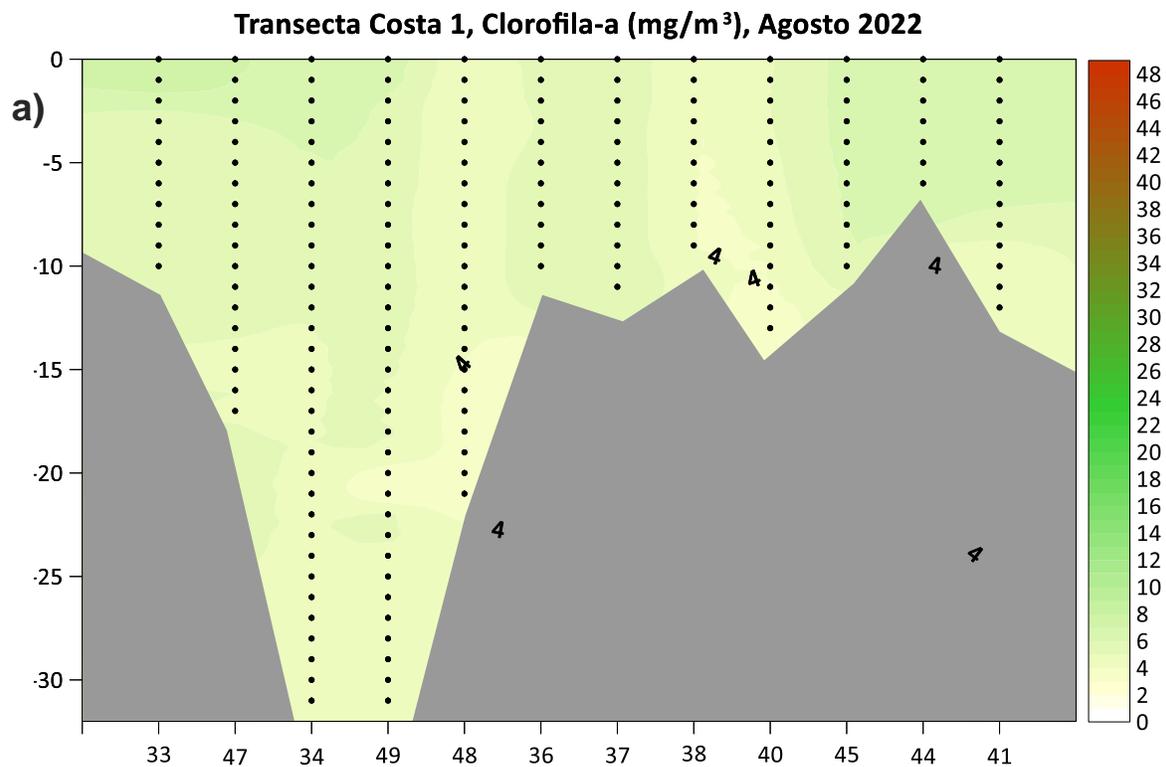


Figura 51. Secciones hidrográficas de clorofila-a (mg m^{-3}) en transectas integradas por a) estaciones costeras (transecta 1); y b) estaciones ubicadas en profundidades superiores a 15 m (transecta 2).

4.1.3.2.2 Columna de agua

En la **Tabla 23** se entrega la estadística descriptiva para el total de mediciones de parámetros físico-químicos analizados en columna de agua para la campaña de agosto de 2022. Los metales Al y Hg, los detergentes y clorofenoles mostraron el 100% de los datos bajo los límites de detección de laboratorio. Sólo As, V, pH, sólidos suspendidos totales, nitrito y fósforo total mostraron una distribución de datos cercana a la normal (normtest.p>0,05). El Pb, cloro libre residual y el índice de fenol, mostraron una mayor variabilidad (cv>80%).

Tabla 23. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en columna de agua submareal. Campaña agosto 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%	normtest.W	normtest.p
Aluminio	(µg/l)	26	0,7000	0,7000	0,7000	0,7000	0,0000	0%	-	-
Arsénico	(µg/l)	14	1,0800	1,6300	1,3300	1,3386	0,1475	11%	0,9848	0,9937
Cadmio	(µg/l)	42	0,0150	0,0740	0,0350	0,0388	0,0155	40%	0,9136	0,0038
Mercurio	(µg/l)	42	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,0000	0%	-	-
Plomo	(µg/l)	42	0,0330	0,5720	0,0760	0,1007	0,0869	86%	0,5820	0,0000
Vanadio	(µg/l)	14	1,6900	2,1100	1,8500	1,8814	0,1378	7%	0,9225	0,2388
pH	(-)	42	7,7600	8,1900	8,0050	8,0050	0,0946	1%	0,9843	0,8242
Sólidos Suspendidos Totales	(mg/l)	42	2,4000	11,8000	3,6500	4,3095	1,8249	42%	0,8089	0,0000
Detergentes	(mg/l)	26	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0000	0%	-	-
Oxígeno disuelto	(mg/l)	8	6,1700	11,2700	8,9800	8,8413	1,8936	21%	0,9354	0,5669
Cloro Libre Residual	(mg/l)	14	0,0100	0,1400	0,0100	0,0314	0,0400	127%	0,6206	0,0001
N-Nitrito	(mg/l)	42	0,0030	0,0320	0,0170	0,0177	0,0072	41%	0,9774	0,5645
N-Nitrato	(mg/l)	42	0,1050	0,6600	0,3060	0,3086	0,0893	29%	0,8636	0,0001
N-Amonio	(mg/l)	42	0,0160	0,1880	0,0535	0,0713	0,0469	66%	0,9075	0,0024
Nitrógeno Kjeldahl	(mg/l)	42	0,5000	0,9900	0,5650	0,6198	0,1365	22%	0,6785	0,0000
Nitrógeno disuelto	(mg/l)	42	0,1260	0,7000	0,4315	0,3966	0,1059	27%	0,9257	0,0093
Nitrógeno total	(mg/l)	42	0,6730	1,3950	0,8965	0,9460	0,1689	18%	0,8747	0,0003
Fósforo disuelto	(mg/l)	42	0,0700	0,3440	0,1220	0,1427	0,0738	52%	0,8646	0,0001
Fósforo total	(mg/l)	42	0,1280	0,4640	0,2570	0,2696	0,0868	32%	0,9509	0,0697
Fosfatos	(mg/l)	42	0,0710	0,2430	0,1700	0,1637	0,0422	26%	0,9564	0,1100
Indice de Fenol	(mg/l)	42	0,0010	0,0090	0,0010	0,0023	0,0021	89%	0,6905	0,0000
AOX	(µg/l)	42	28,9200	41,6600	32,2450	33,4724	3,3404	10%	0,8511	0,0001
Hidrocarburos Totales	(µg/l)	42	0,3500	1,8090	0,6890	0,7760	0,3045	39%	0,8542	0,0001
Carbono Orgánico Total	(mg/l)	42	0,6900	1,2100	0,8600	0,8938	0,1423	16%	0,9468	0,0497
Clorofenoles	(µg/l)	10	0,0060	0,0060	0,0060	0,0060	0,0000	0%	-	-

El análisis boxplot para las concentraciones de metales observadas por zona (**Figura 52**), reveló que el arsénico, medido en la zona 2, osciló entre 1,08 y 1,63 $\mu\text{g/l}$. El cadmio mostró un rango de variación que osciló entre 0,01 y 0,07 $\mu\text{g/l}$, con mayores concentraciones en las zonas 2 y 3. El plomo mostró concentraciones máximas de 0,57 $\mu\text{g/l}$, para una única estación en la zona 4, mostrando la mayoría de las determinaciones niveles inferiores a 0,2 $\mu\text{g/l}$. Finalmente, vanadio mostró concentraciones que en la zona 2 oscilaron entre 1,69 y 2,11 $\mu\text{g/l}$.

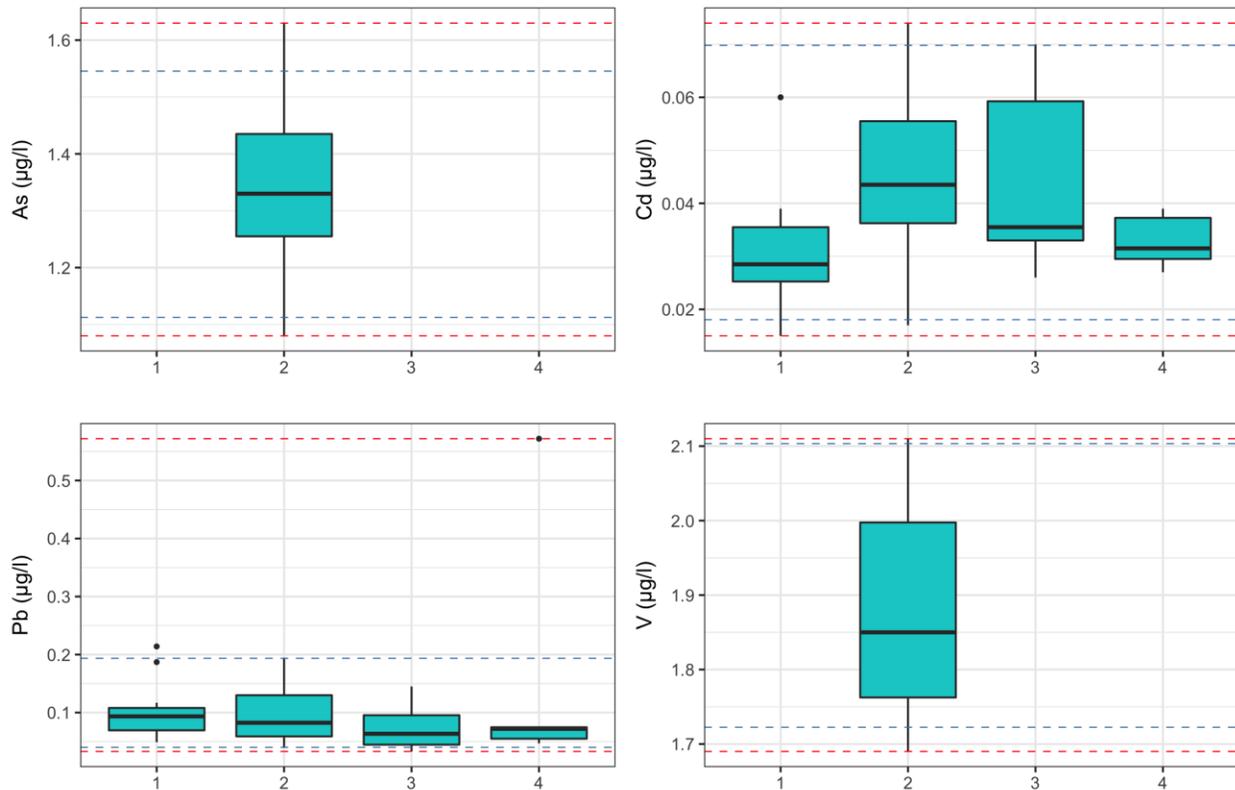


Figura 52. Boxplots para las concentraciones observadas de metales As, Cd, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.

Los parámetros pH, sólidos suspendidos totales y oxígeno disuelto mostraron una alta variabilidad, con baja diferenciación entre zonas, aunque en el caso los sólidos suspendidos totales se observan mayores concentraciones en Zona 1 (**Figura 53**). El cloro libre residual, medido en la Zona 2, muestra la mayor proporción de las concentraciones bajo 0,05 $\mu\text{g/l}$, con registros aislados que superan los 0,1 $\mu\text{g/l}$.

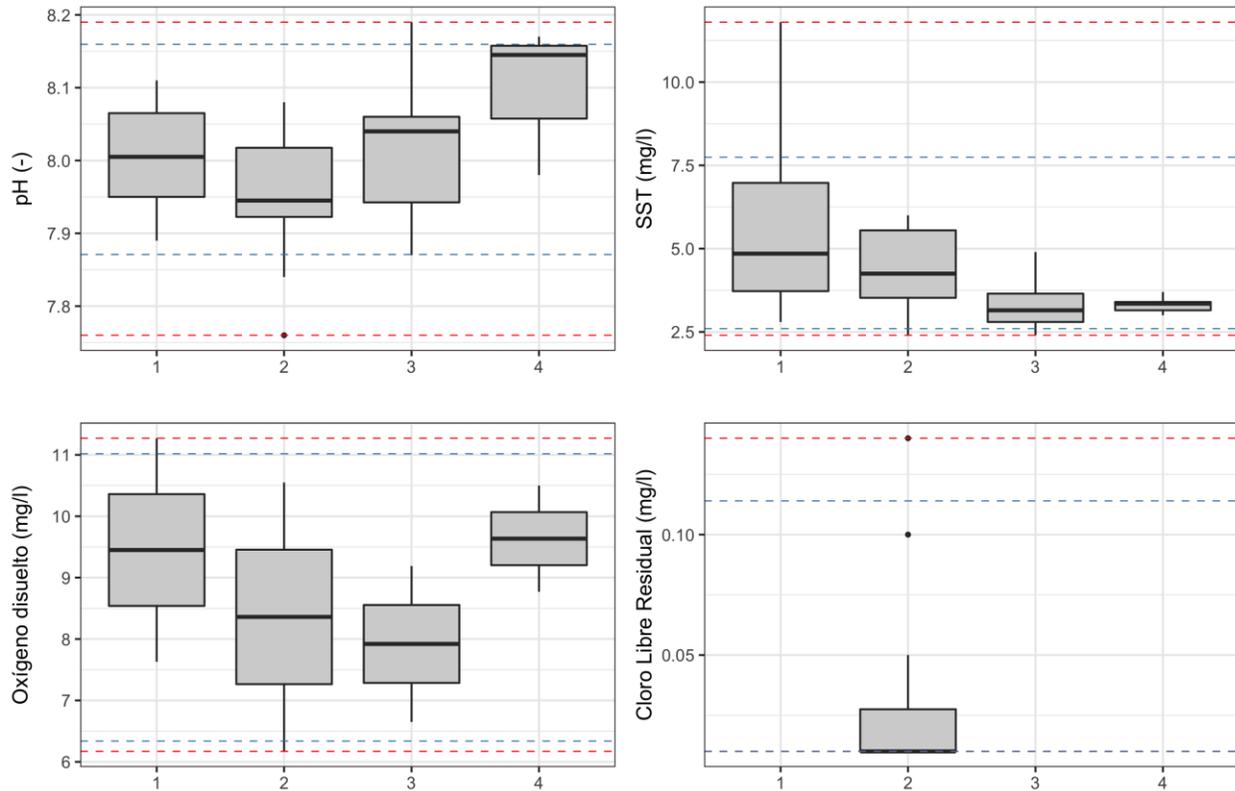


Figura 53. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST); Oxígeno disuelto y Cloro Libre Residual por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.

Los nutrientes mostraron una alta variabilidad en la mayoría de las zonas evaluadas, destacando mayores concentraciones de nitrato, nitrógeno total, nitrógeno total kjeldahl, fósforo total y fosfatos en la Zona 1 (**Figuras 54 y 55**), así como mayores concentraciones de nitrito, amonio y nitrógeno y fósforo disuelto en la Zona 2. En general la Zona 4 muestra las concentraciones más bajas de nutrientes durante el invierno.

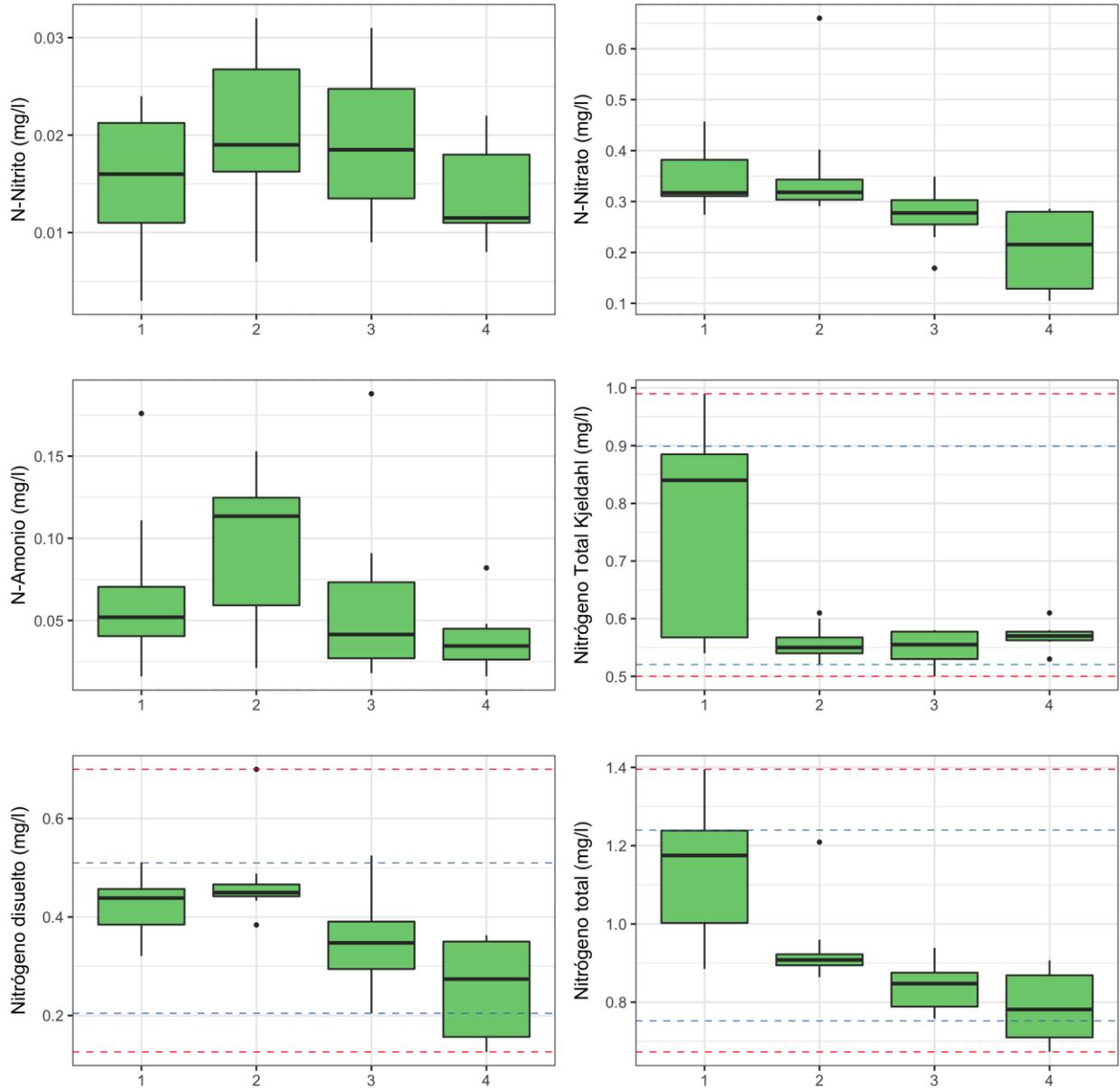


Figura 54. Boxplots para las concentraciones observadas de los nutrientes N-Nitrito, N-Nitrato, N-Amonio, Nitrogeno Total Kjeldahl, Nitrogeno disuelto y Nitrogeno total por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.

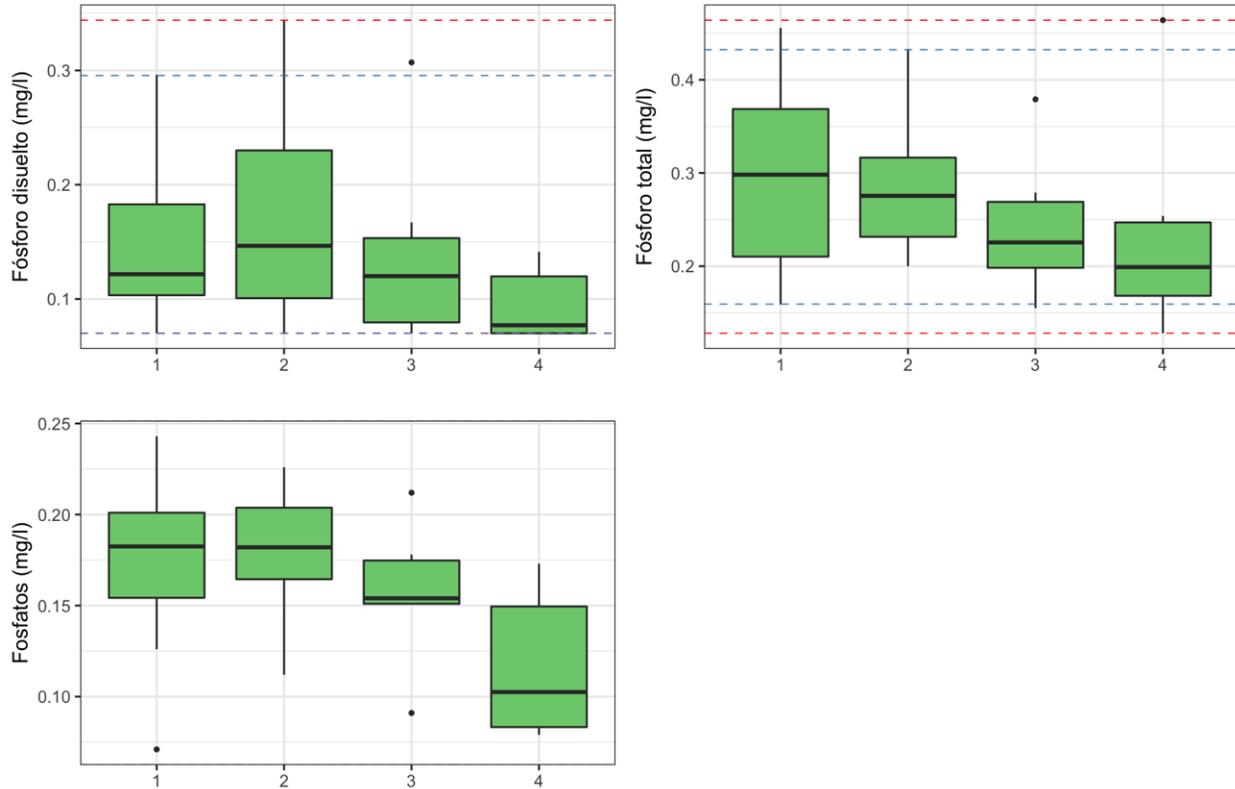


Figura 55. Boxplots para las concentraciones observadas de los nutrientes Fósforo disuelto, Fósforo total y Fosfatos por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.

En el caso de los compuestos orgánicos, se observó una mayor concentración AOX y en la Zona 1 y mayores concentraciones de índice de fenol en la Zona 3 (**Figura 56**).

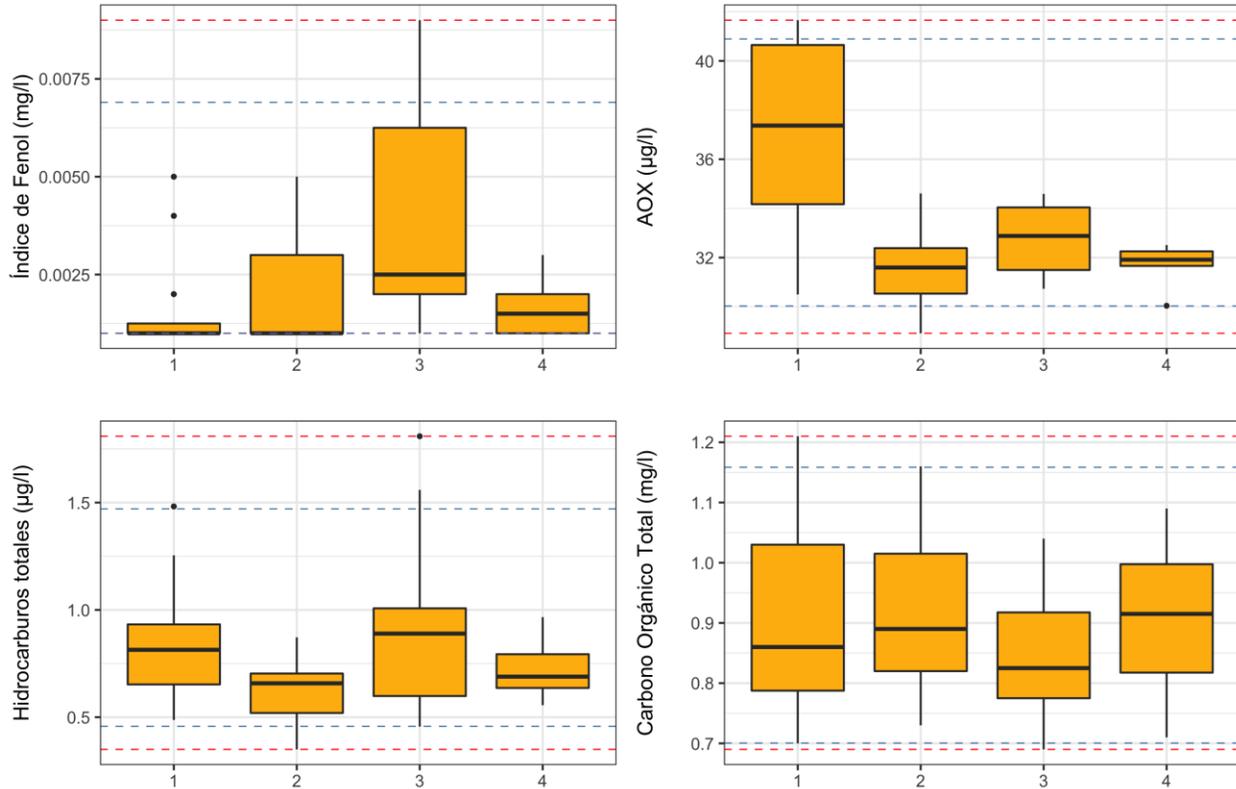


Figura 56. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros orgánicos, índice de Fenol, AOX, Hidrocarburos totales y Carbono Orgánico Total por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.

4.1.3.2.3 Sedimentos

El análisis de la granulometría de sedimentos submareales por zona revela una mayor variabilidad en la composición granulométrica de las Zonas 1 y 2, con una mayor proporción de arenas finas y medias en las Zonas 3 y 4 y una mayor proporción de arenas muy finas en las Zonas 1 y 2 (**Figura 57**). La fracción fina (limos) alcanza una mayor representatividad en las Zonas 1, 2 y 3, estando prácticamente ausente en la Zona 4.

El análisis de los estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físicoquímicos medidos en sedimentos revela que EOX mostró el 100% de los registros bajo el límite de detección (**Tabla 24**) y que los parámetros Cd, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox mostraron la mayor variabilidad ($cv > 100\%$).

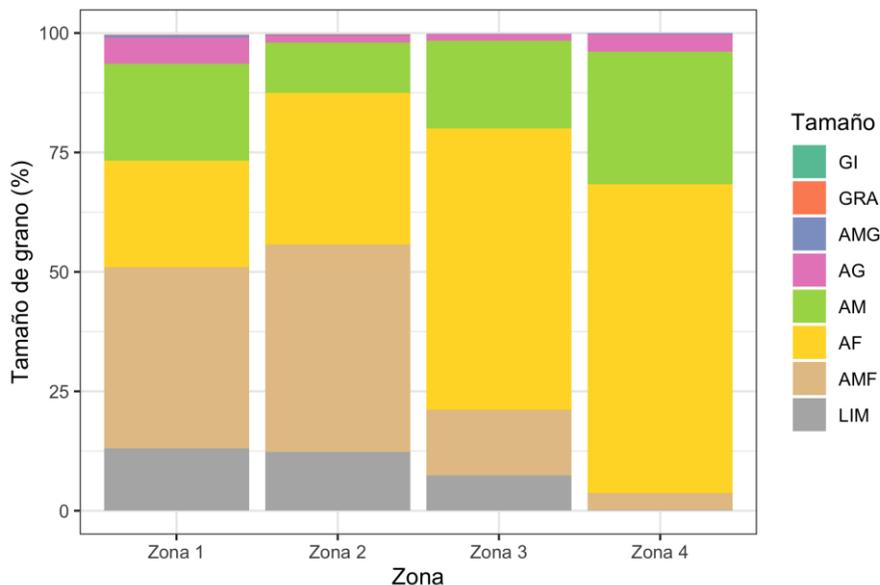


Figura 57. Composición granulométrica promedio de sedimentos submareales por zona de muestreo. Campaña agosto 2022. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Gujjarro.

Tabla 24. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos submareales. Campaña agosto 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%	normtest.W	normtest.p
Aluminio	(µg/g)	13	33246	95052	62925	62581	18035	29%	0,9586	0,7323
Arsénico	(µg/g)	7	7,570	20,730	12,340	12,734	4,815	38%	0,9195	0,4658
Cadmio	(µg/g)	21	0,022	3,444	0,519	0,850	0,913	107%	0,8436	0,0033
Mercurio	(µg/g)	21	0,002	0,199	0,091	0,088	0,065	74%	0,9324	0,1538
Plomo	(µg/g)	21	2,066	16,155	7,955	8,635	4,901	57%	0,9013	0,0371
Vanadio	(µg/g)	7	44,98	134,59	114,06	98,25	35,47	36%	0,8899	0,2740
AOX	(µg/g)	21	35,19	225,15	82,61	105,56	57,13	54%	0,9105	0,0563
EOX	(µg/g)	5	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0%	-	-
Carbono Orgánico Total	(%)	21	0,090	5,900	2,130	2,153	1,898	88%	0,8968	0,0303
Hidrocarburos Totales	(µg/g)	21	0,347	52,302	5,734	12,938	16,193	125%	0,7850	0,0004
Potencial Redox	(mV)	21	-405,00	200,40	-150,40	-121,68	152,95	-126%	0,9434	0,2540

El análisis boxplot para las concentraciones medidas por zona revela, en general, mayores concentraciones de Al y Hg en la Zona 1 (**Figura 58**) y mayores concentraciones de Cd, Pb, AOX, carbono orgánico total e hidrocarburos totales en la Zona 2 (**Figuras 58 y 59**), siendo en la Zona 4 donde se observan las menores concentraciones para el total de parámetros comparables

(Figuras 58 y 59). El potencial redox mostró una alta variabilidad en la Zona 1 y resultó más alto (positivo) en la Zona 4.

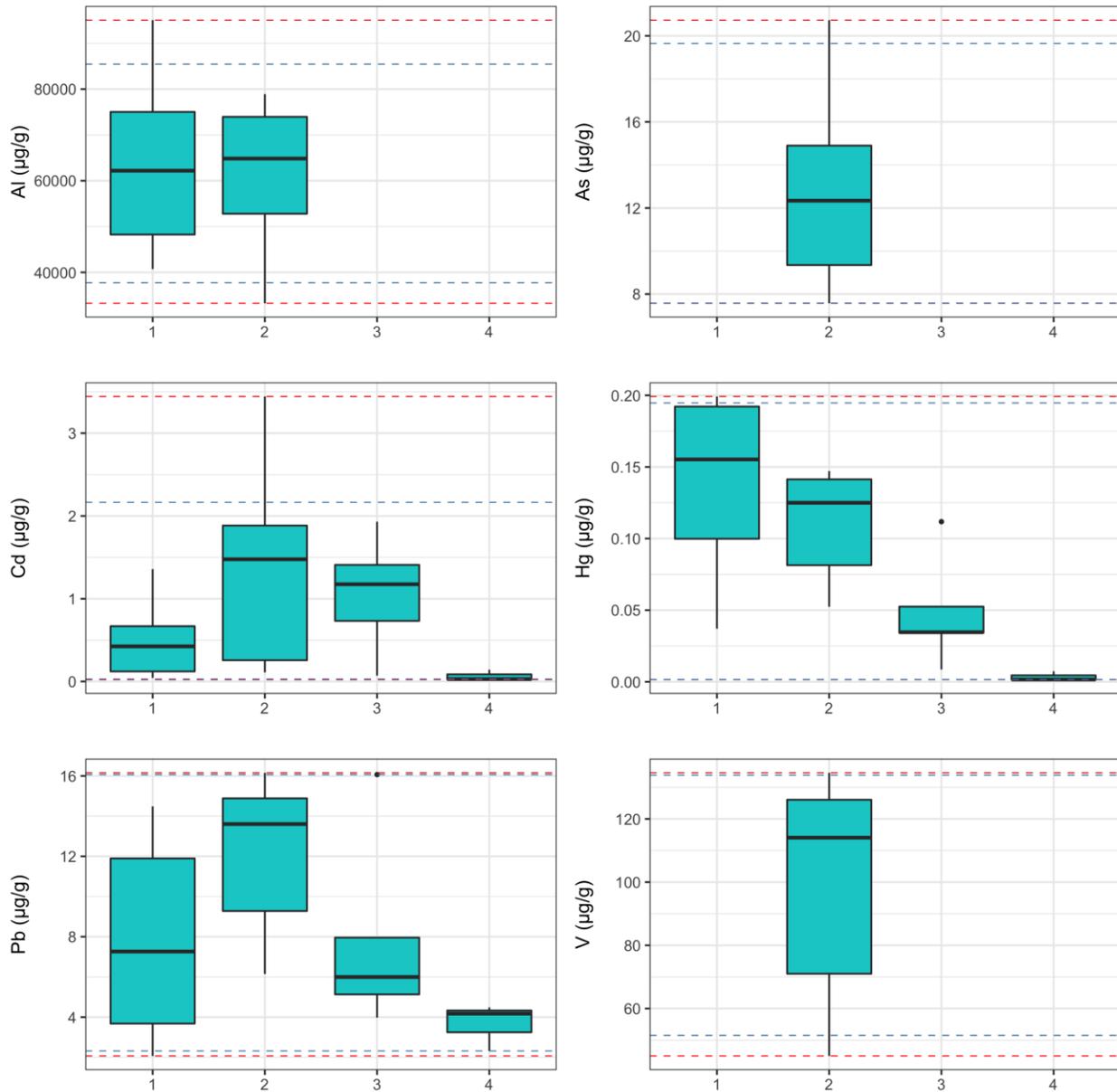


Figura 58. Boxplots para las concentraciones observadas de los metales Al, As, Cd, Hg, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.

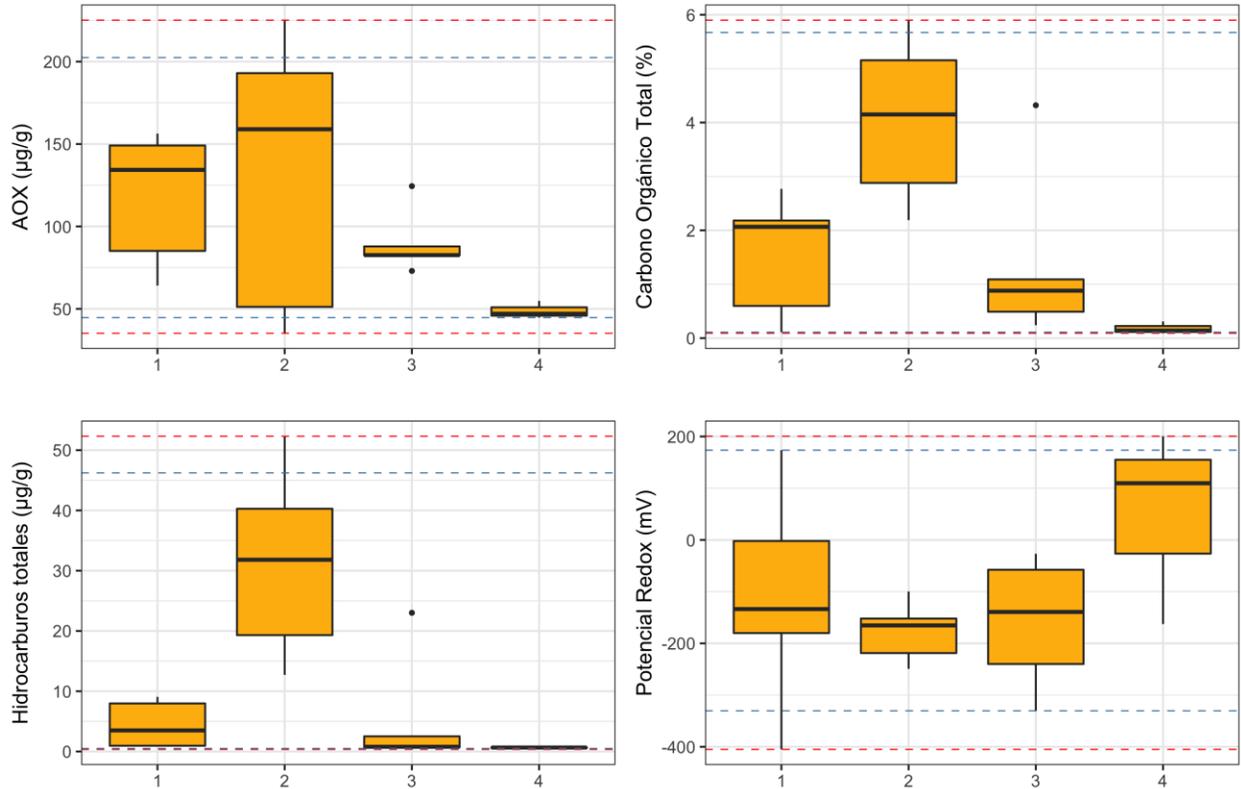


Figura 59. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros AOX, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.

Estos resultados permiten establecer que durante la campaña de agosto 2022 la columna de agua submareal mostró la influencia de la descarga del río Biobío, observándose mayores concentraciones de sólidos suspendidos totales, nitrato, nitrógeno total, nitrógeno total kjeldahl, fósforo total, fosfatos y AOX en la Zona 1. En sedimentos se observó mayores concentraciones de Al y Hg en la Zona 1 y mayores concentraciones de Cd, Pb, AOX, carbono orgánico total e hidrocarburos totales en la Zona 2.

4.1.3.3 Ambiente intermareal

4.1.3.3.1 Sedimentos

El análisis de la granulometría de los sedimentos intermareales muestra una mayor proporción de arenas gruesas en las Zonas 1 y 2 con un incremento gradual de la proporción de arenas finas hacia la Zona 3, observándose una mayor proporción de arenas medias en la Zona 4 (**Figura 60**).

El análisis de los estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físicoquímicos medidos en sedimentos revela que EOX mostró el 100% de los registros bajo el límite de detección (**Tabla 25**) y que los parámetros Hg, Carbono Orgánico Total e Hidrocarburos totales mostraron una alta variabilidad ($cv > 135\%$).

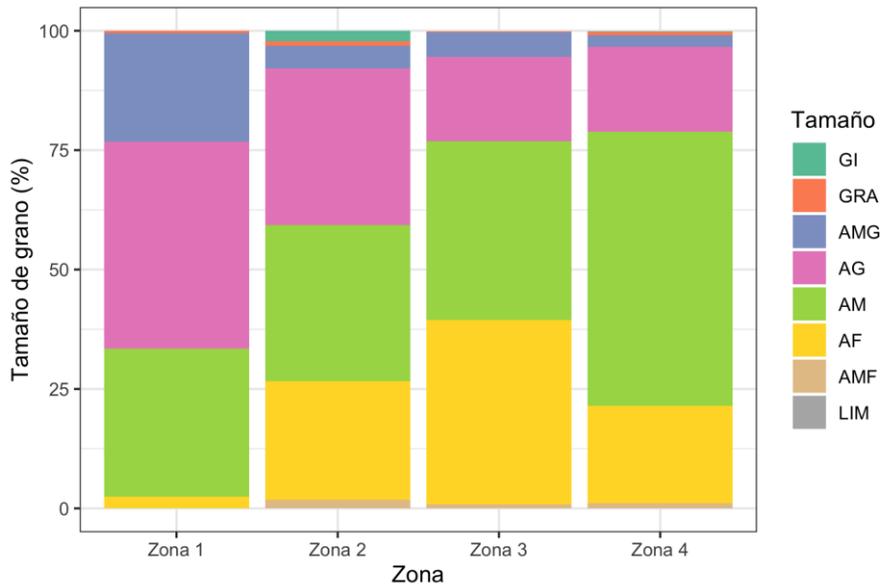


Figura 60. Composición granulométrica promedio de sedimentos intermareales por zona de muestreo. Campaña agosto 2022. LIM: limo; AMF: arenas muy finas; AF: arenas finas; AM: arenas medias; AG: arenas gruesas; AMG: arenas muy gruesas; GRA: grava; GI: Guijarro.

Tabla 25. Estadígrafos de tendencia central y dispersión para los parámetros físico-químicos medidos en sedimentos intermareales. Campaña agosto 2022. UM: Unidad de medida; Nobs: número de observaciones; min: mínimo; max: máximo; prom: promedio; desvest: desviación estándar; cv%: coeficiente de variación; normtest-W: estadígrafo de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks; normtest.p: valor-p del test de normalidad.

Parámetro	UM	Nobs	min	max	mediana	prom	desvest	cv%	normtest.W	normtest.p
Aluminio	(µg/g)	12	12168	35644	24702	24325	5809	24%	0,9530	0,6819
Arsénico	(µg/g)	7	1,810	7,540	3,630	3,900	2,101	54%	0,8954	0,3043
Cadmio	(µg/g)	19	0,015	0,037	0,021	0,022	0,005	23%	0,8799	0,0214
Mercurio	(µg/g)	19	0,001	0,027	0,001	0,004	0,006	173%	0,4878	0,0000
Plomo	(µg/g)	19	1,417	6,811	2,209	2,950	1,799	61%	0,7323	0,0001
Vanadio	(µg/g)	7	28,53	81,80	62,17	55,37	22,42	40%	0,8771	0,2139
AOX	(µg/g)	19	19,27	92,66	50,18	51,36	19,06	37%	0,9860	0,9892
EOX	(µg/g)	4	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0%	-	-
Carbono Orgánico Total	(%)	19	0,030	1,100	0,040	0,141	0,268	190%	0,4679	0,0000
Hidrocarburos Totales	(µg/g)	19	0,492	22,865	1,614	3,804	5,286	139%	0,6333	0,0000
Potencial Redox	(mV)	19	137,80	250,70	195,00	195,63	26,79	14%	0,9798	0,9400

El análisis boxplot para las concentraciones medidas por zona revela, en general, mayores concentraciones de Al y AOX en la Zona 1, mayores concentraciones de Hg, Pb y carbono orgánico total en la Zona 2 y mayores niveles de hidrocarburos totales en la Zona 4 (**Figuras 61 y 62**).

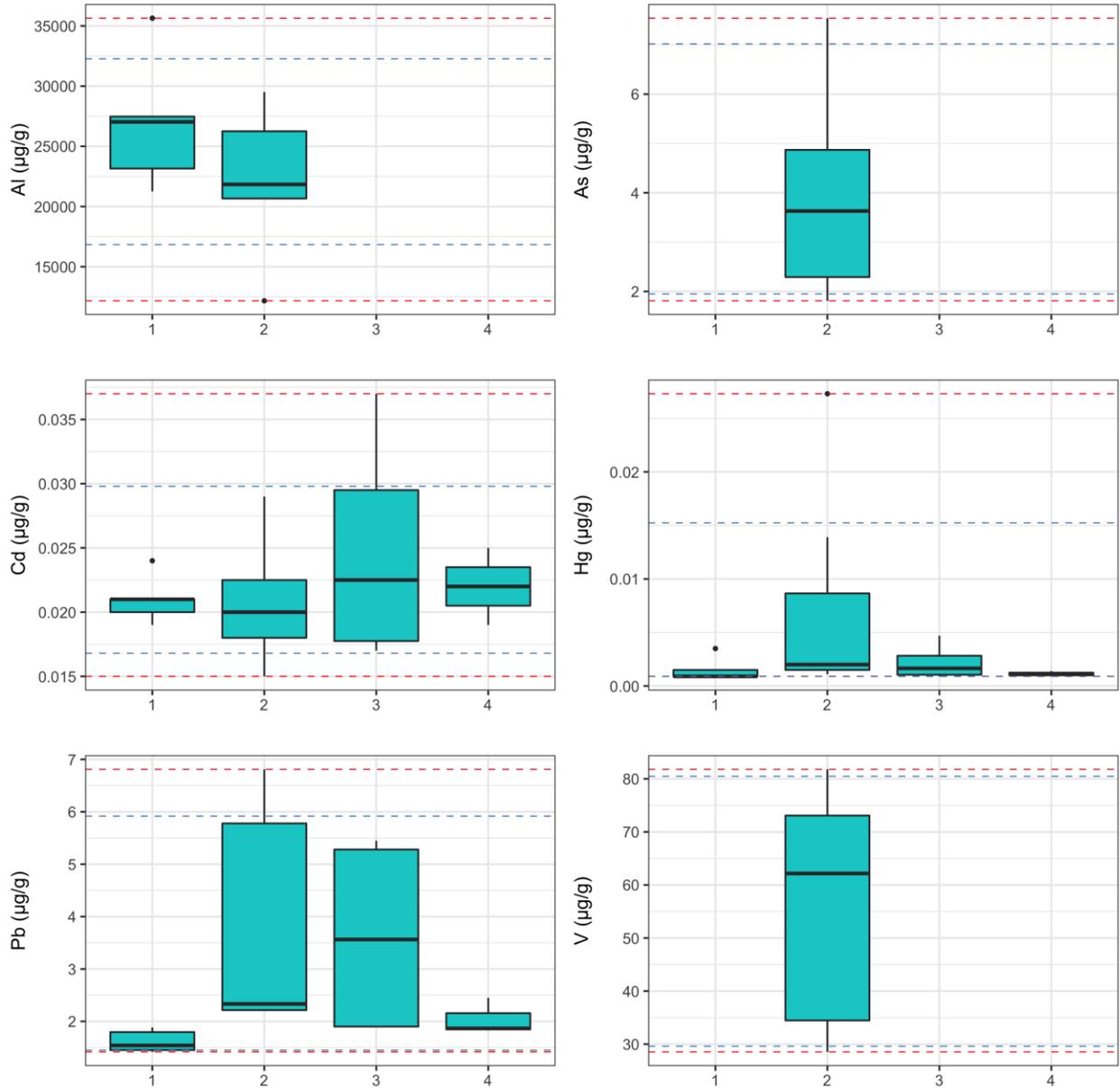


Figura 61. Boxplots para las concentraciones observadas de los metales Al, As, Cd, Hg, Pb y V por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.

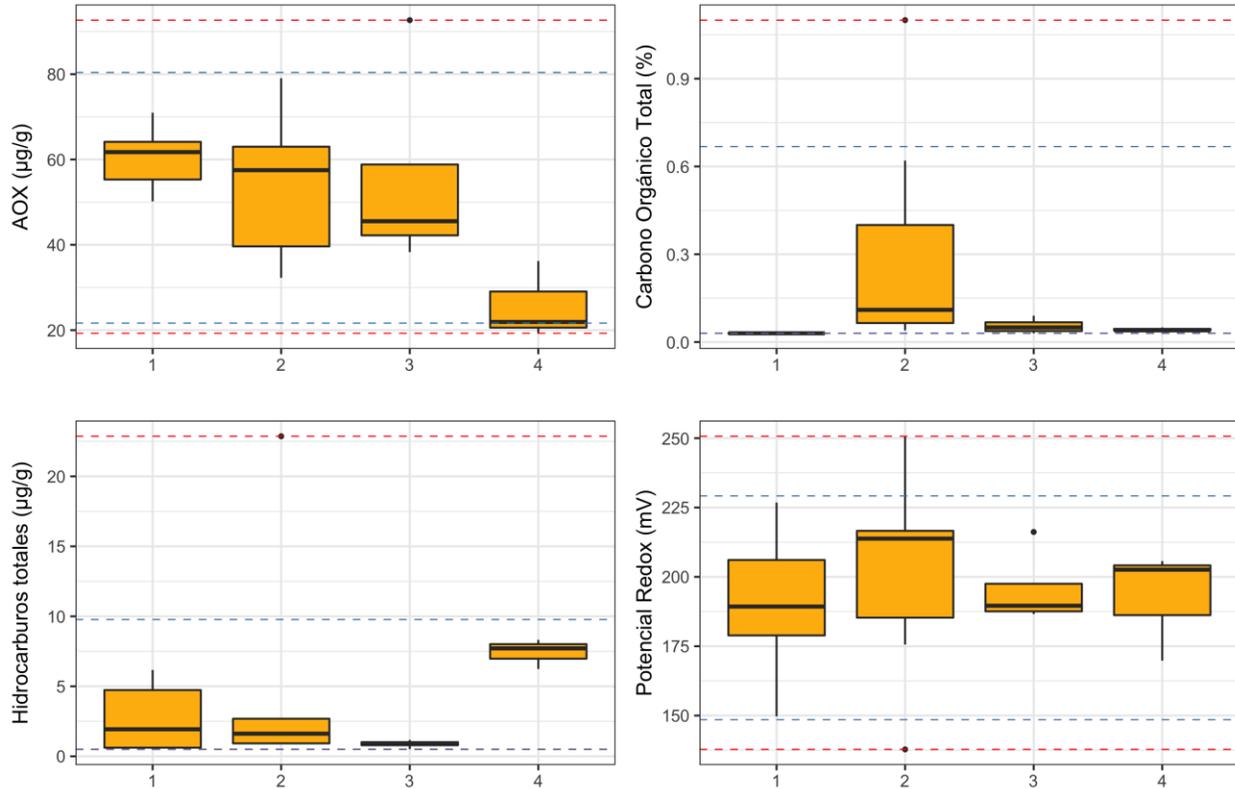


Figura 62. Boxplots para las concentraciones observadas de los parámetros AOX, Carbono Orgánico Total, Hidrocarburos totales y Potencial Redox por zona de muestreo. La línea segmentada roja representa los valores mínimo y máximo observados para la campaña y la línea segmentada azul representa los percentiles 5% y 95%. Campaña agosto 2022.

4.1.4 Análisis integrado

4.1.4.1 Hidrografía

El contraste de los perfiles hidrográficos analizados para temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, clorofila y turbidez se presenta en las **Figuras 63 a 67**.

La temperatura (**Figura 63**) muestra máximos en todas las zonas en enero 2022 y mínimos en agosto 2022. Durante octubre 2021 se observa la presencia de una termoclina entre 0 y 15 m, la que profundiza hasta los 20 m en enero 2022 y tiende a desaparecer en agosto 2022. Durante esta última campaña, se observa la presencia de aguas más frías asociadas al efecto de la pluma de descarga del río Biobío en la Zonas 1.

La salinidad (**Figura 64**) muestra menores concentraciones en superficie, principalmente en las estaciones de muestreo dispuestas en las Zonas 1 y 2, particularmente durante la campaña de agosto 2022, donde los niveles de salinidad llegan a mínimos inferiores a 5 psu.

El oxígeno disuelto (**Figura 65**) muestra comportamientos y concentraciones similares entre estaciones de muestreo para las campañas de octubre de 2021 y enero 2022, con mayores concentraciones a profundidades inferiores a 5 m (> 8 mg/l), con una oxiclina entre 5 y 15 metros para todas las zonas de muestreo y concentraciones normalmente inferiores a 2 mg/l en profundidades superiores a 20 m. Durante agosto 2022, la columna de agua tiende a homogenizarse en niveles normalmente superiores a 5 mg/l para todas las zonas.

La clorofila-a (**Figura 66**) muestra máximos durante octubre 2021 y enero 2022 (>30 mg/m³), particularmente en las Zonas 1 y 2, y en profundidades inferiores a 10 m, observándose durante enero de 2022 una menor productividad en las Zonas 3 y 4 que la observada en octubre 2021. Durante agosto 2022, los niveles de clorofila-a en columna de agua disminuyen a concentraciones inferiores a 10 mg/m³ en todas las zonas de muestreo, pero especialmente en las Zonas 1 y 2, donde el total de estaciones de muestreo mostró concentraciones de clorofila-a inferiores a 5 mg/m³.

La turbidez (**Figura 67**) muestra máximos en superficie durante octubre 2021 en las Zonas 1 y 3 y en fondo durante agosto 2022, particularmente en estaciones de muestreo ubicadas en las Zonas 1, 2 y 4.

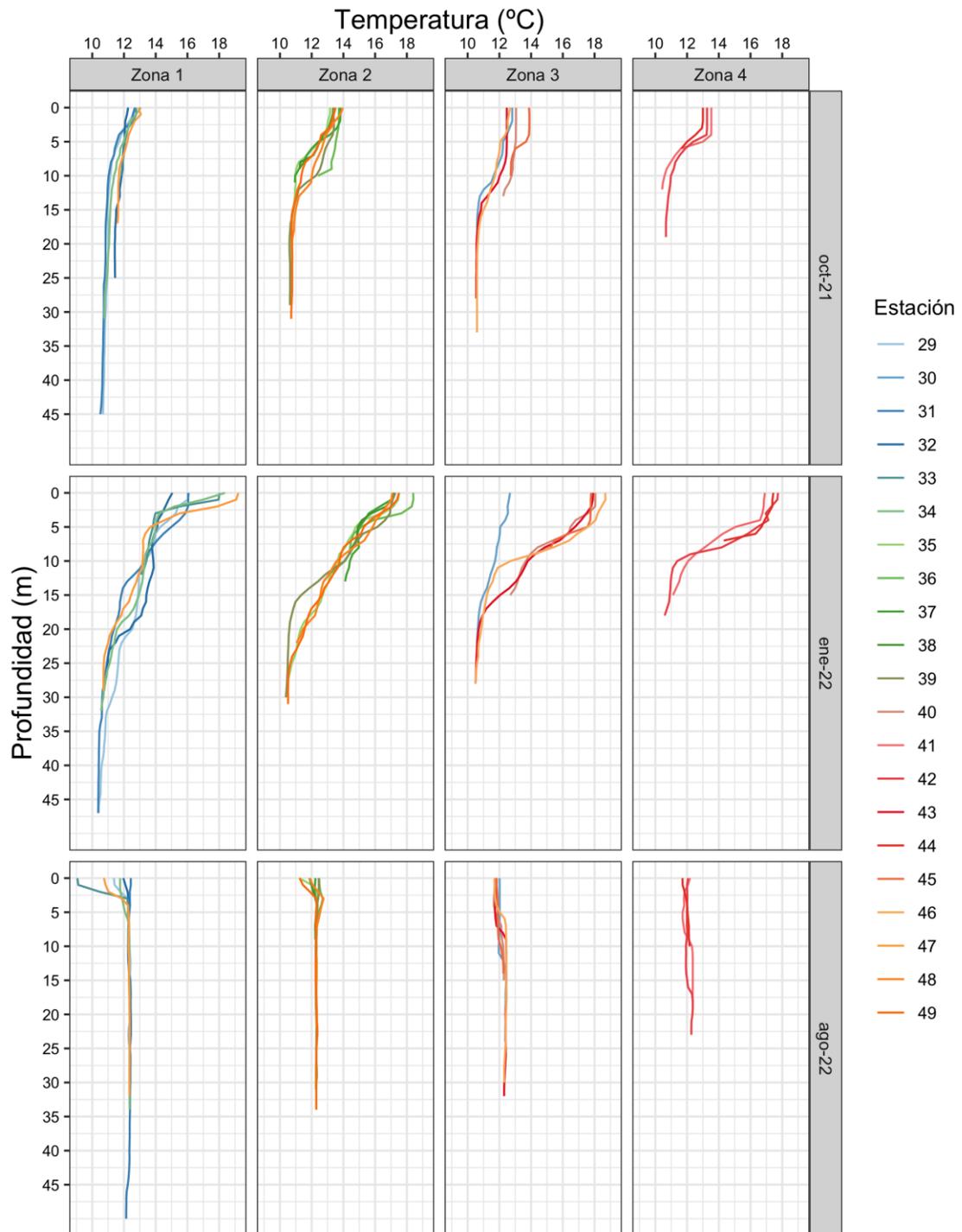


Figura 63. Perfiles de temperatura (°C) por estación de muestreo, clasificados por zona y campaña.

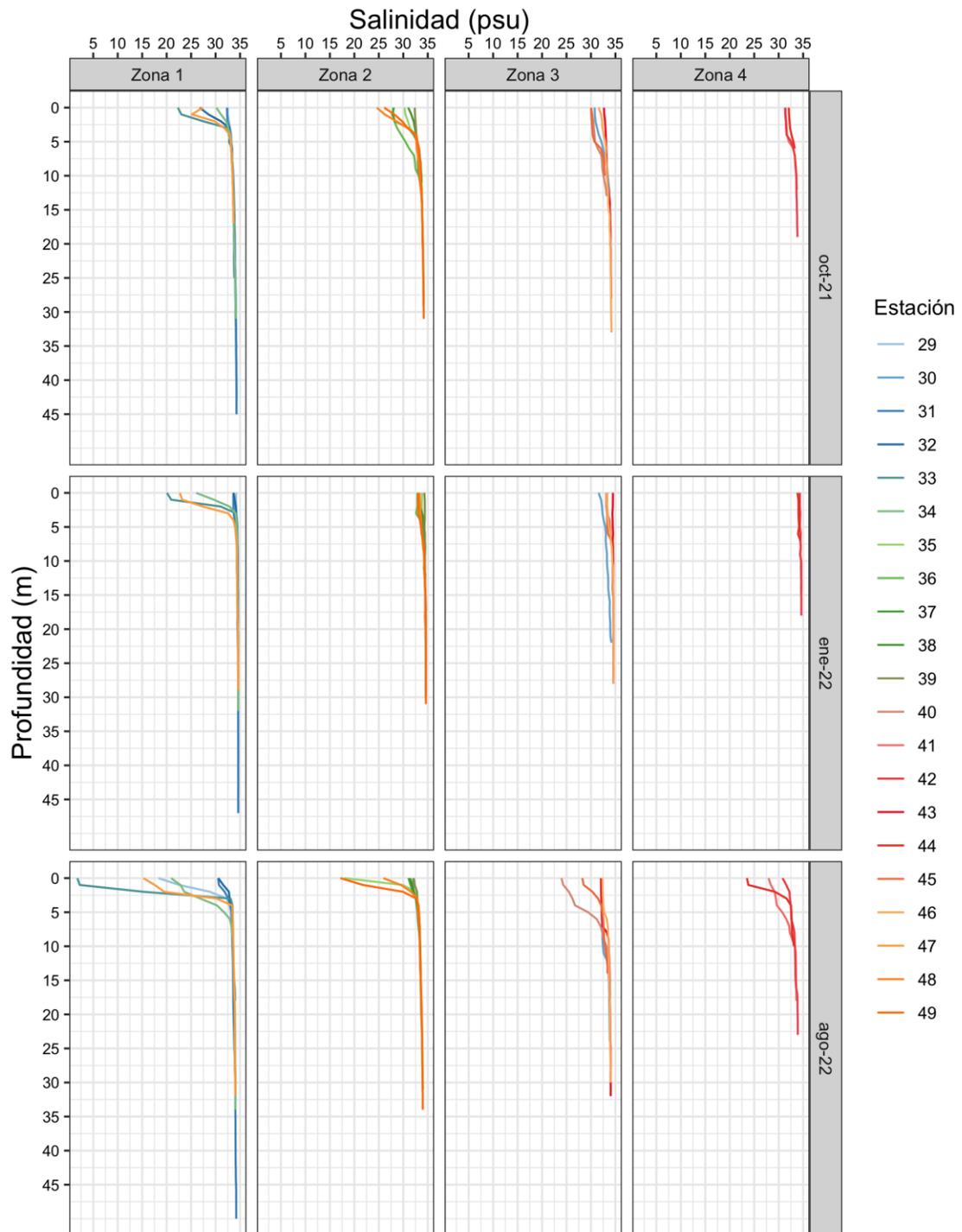


Figura 64. Perfiles de salinidad (psu) por estación de muestreo, clasificados por zona y campaña.

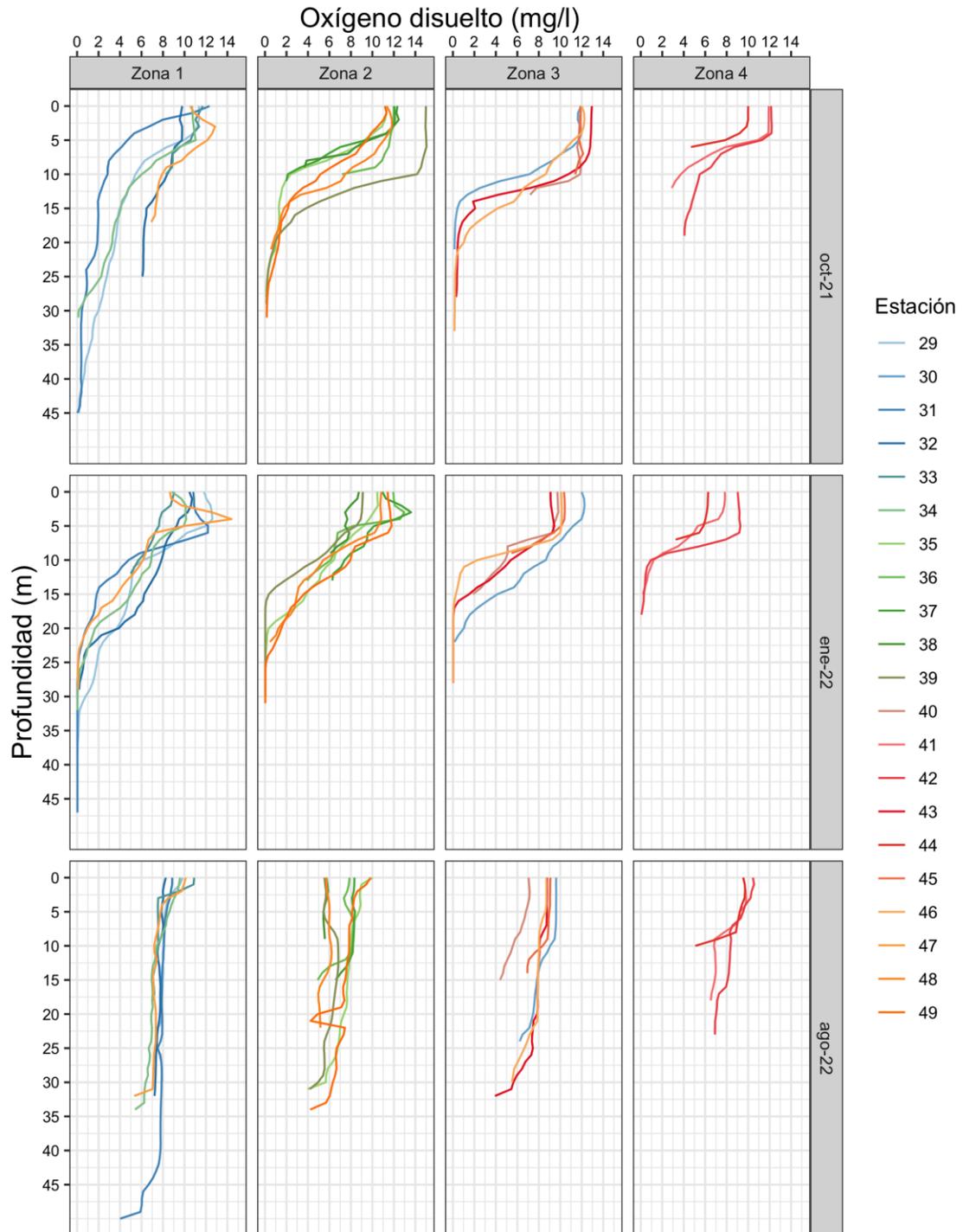


Figura 65. Perfiles oxígeno disuelto (mg/l) por estación de muestreo, clasificados por zona y campaña.

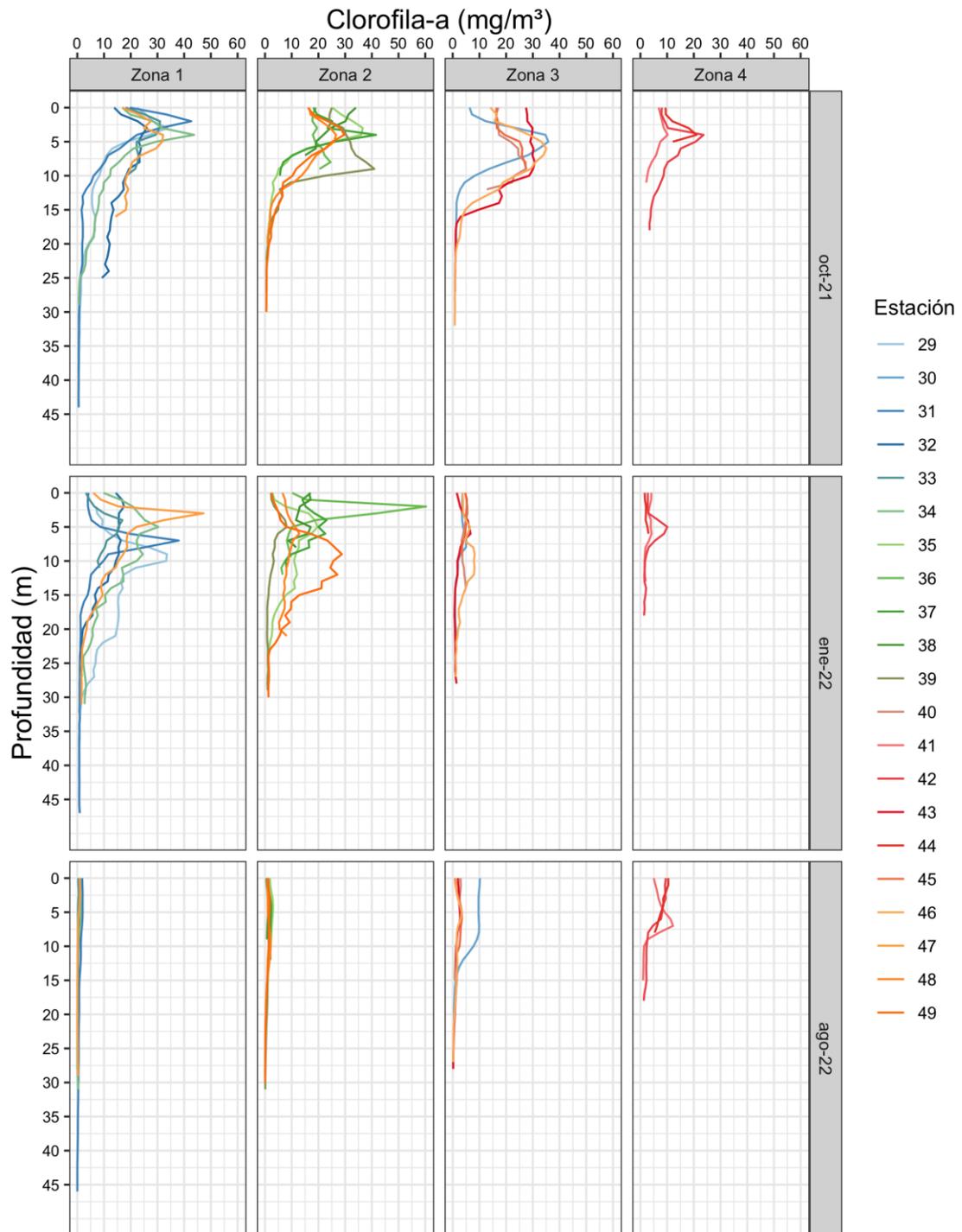


Figura 66. Perfiles de clorofila (mg/m^3) por estación de muestreo, clasificados por zona y campaña.

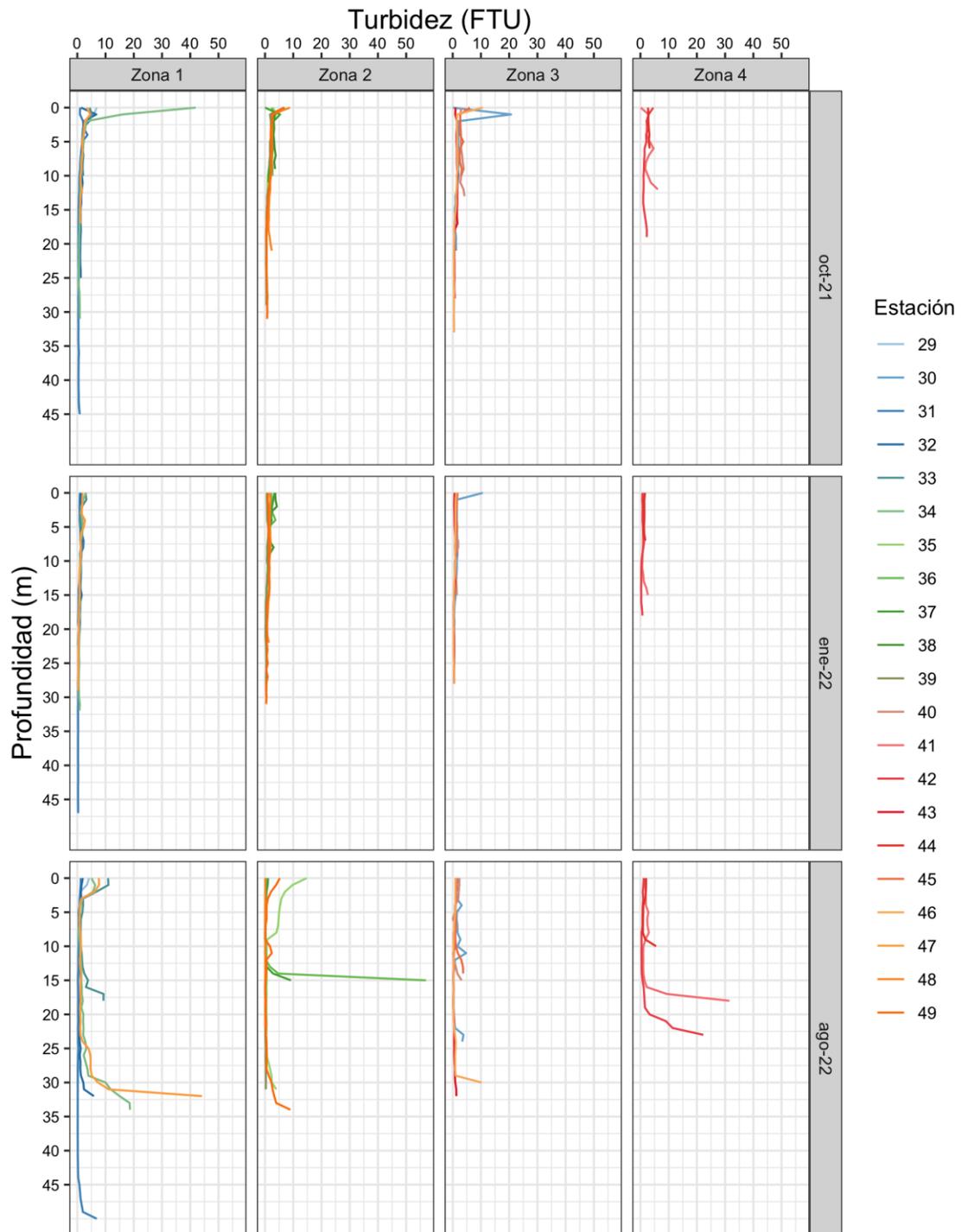


Figura 67. Perfiles de turbidez (FTU) por estación de muestreo, clasificados por zona y campaña.

4.1.4.2 Agua

El resultado del PCA efectuado para el total de mediciones ejecutadas transversalmente por estación de muestreo en la columna de agua, y en las 3 campañas de muestreo, revela que las 2 primeras componentes principales alcanzan a explicar un 41% de la variabilidad contenida en la base de datos (**Figura 68**) y que la diferenciación entre zonas de muestreo resulta estadísticamente significativa ($P < 0,05$), aunque logra explicar sólo un 4% de la ordenación (PERMANOVA $R^2 = 0,04$), observándose una alta sobreposición entre las elipses.

Al clasificar la ordenación por campañas de muestreo se observa una mayor diferenciación que la observada entre zonas (**Figura 69**). En efecto, la diferenciación entre campañas resulta estadísticamente significativa ($P < 0,001$) y logra explicar un 18% de la variabilidad en la ordenación, destacando una mayor dispersión (mayor tamaño de la elipse) en octubre 2021 y en agosto 2022, con una menor dispersión en agosto 2022.

Este resultado sugiere que la diferenciación temporal es más relevante que la diferenciación espacial en el caso de la columna de agua, observándose una mayor dispersión en las concentraciones medidas en las campañas de octubre 2021 y enero 2022 que en agosto 2022.

PERMANOVA $R^2=0.04$, $P<0.05$

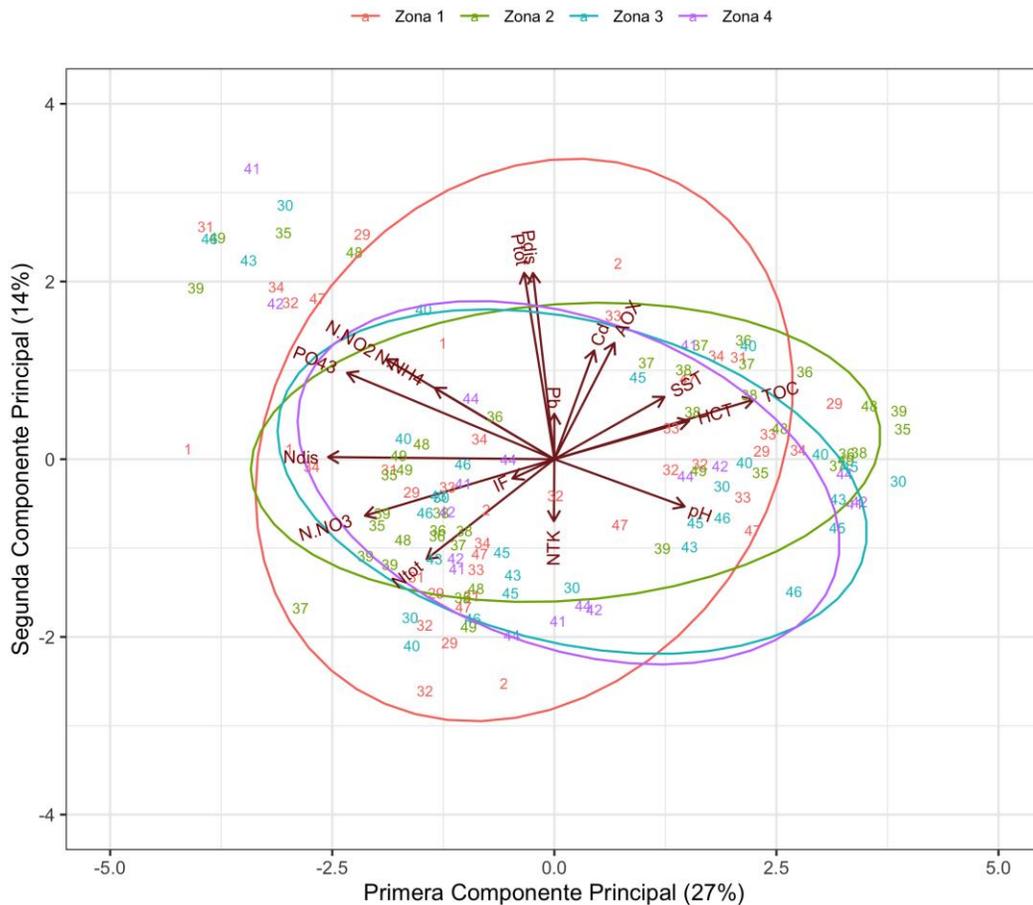


Figura 68. Resultado del análisis de componentes principales efectuado para los parámetros medidos transversalmente en la columna de agua en las 3 campañas de monitoreo. Puntajes numerados por estación de monitoreo y clasificados por Zona.

PERMANOVA $R^2=0.18$, $P<0.001$

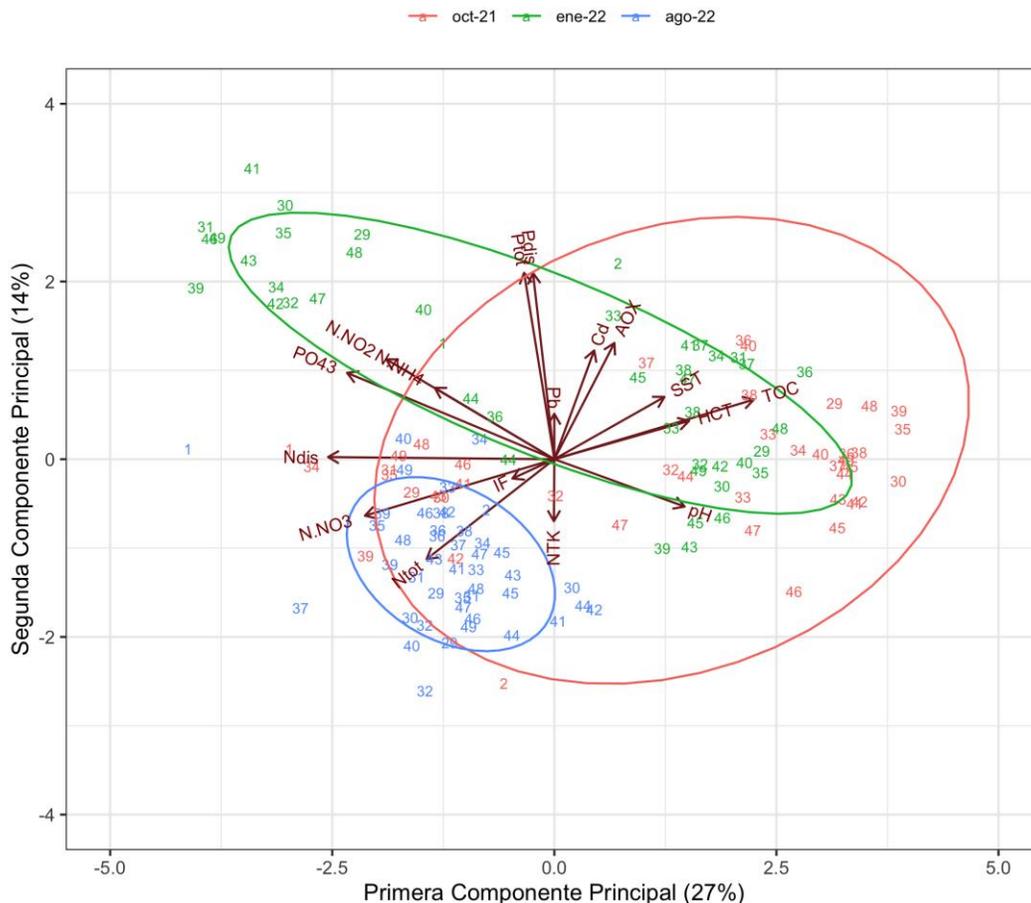


Figura 69. Resultado del análisis de componentes principales efectuado para los parámetros medidos transversalmente en la columna de agua en las 3 campañas de monitoreo. Puntajes numerados por estación de monitoreo y clasificados por Campaña.

4.1.4.3 Sedimentos submareales

Un análisis de la composición granulométrica en sedimentos submareales permite observar consistencia entre las granulometrías de las 3 campañas de muestreo, observándose, no obstante, una mayor proporción de arenas muy gruesas y gránulos para la campaña de octubre 2021, particularmente en las estaciones de 29, 31, 34 (Zona 1), 35, 38, 38, 48, 49 (Zona 2) y 40 (Zona 3). Durante las 3 campañas de monitoreo, la mayor proporción de limos se observa en las Zonas 1 y 2, y en la estación 40 de la Zona 3 (**Figura 70**).

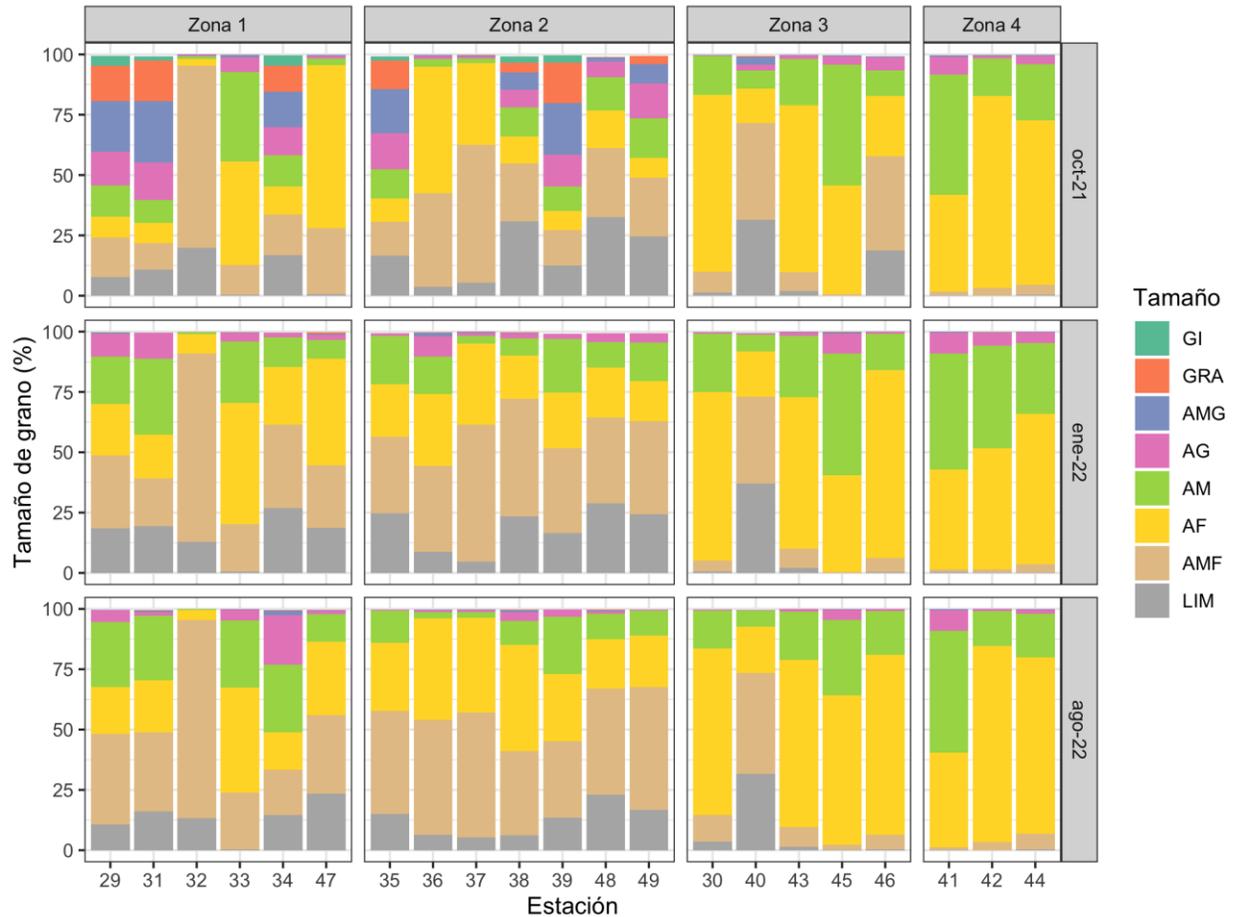


Figura 70. Composición granulométrica de sedimentos del submareal por Estación, Zona y Campaña de monitoreo.

El resultado del PCA efectuado para el total de mediciones ejecutadas transversalmente por estación para las 3 campañas de muestreo, revela que las 2 primeras componentes principales alcanzan a explicar un 77% de la variabilidad contenida en la base de datos (**Figura 71**) y que la diferenciación entre zonas de muestreo resulta estadísticamente significativa ($P < 0,001$) explicando un 36% de la ordenación (PERMANOVA $R^2 = 0,36$), siendo las estaciones de muestreo de la Zona 2 las que tienden a segregarse del resto de los sitios de muestreo, debido a las mayores concentraciones observadas de hidrocarburos totales, carbono orgánico total, Pb, Hg, AOX y Cd.

Al clasificar la ordenación por campañas de muestreo se aprecia una menor diferenciación que la observada entre zonas (**Figura 72**). La diferenciación entre campañas no resulta

estadísticamente significativa ($P=0,827$) y logra explicar sólo un 1% de la variabilidad en la ordenación.

Este resultado sugiere que, en el caso de los sedimentos del submareal, la diferenciación espacial es más relevante que la diferenciación temporal, observándose que en la Zona 2 se producen las mayores concentraciones de los parámetros analizados.

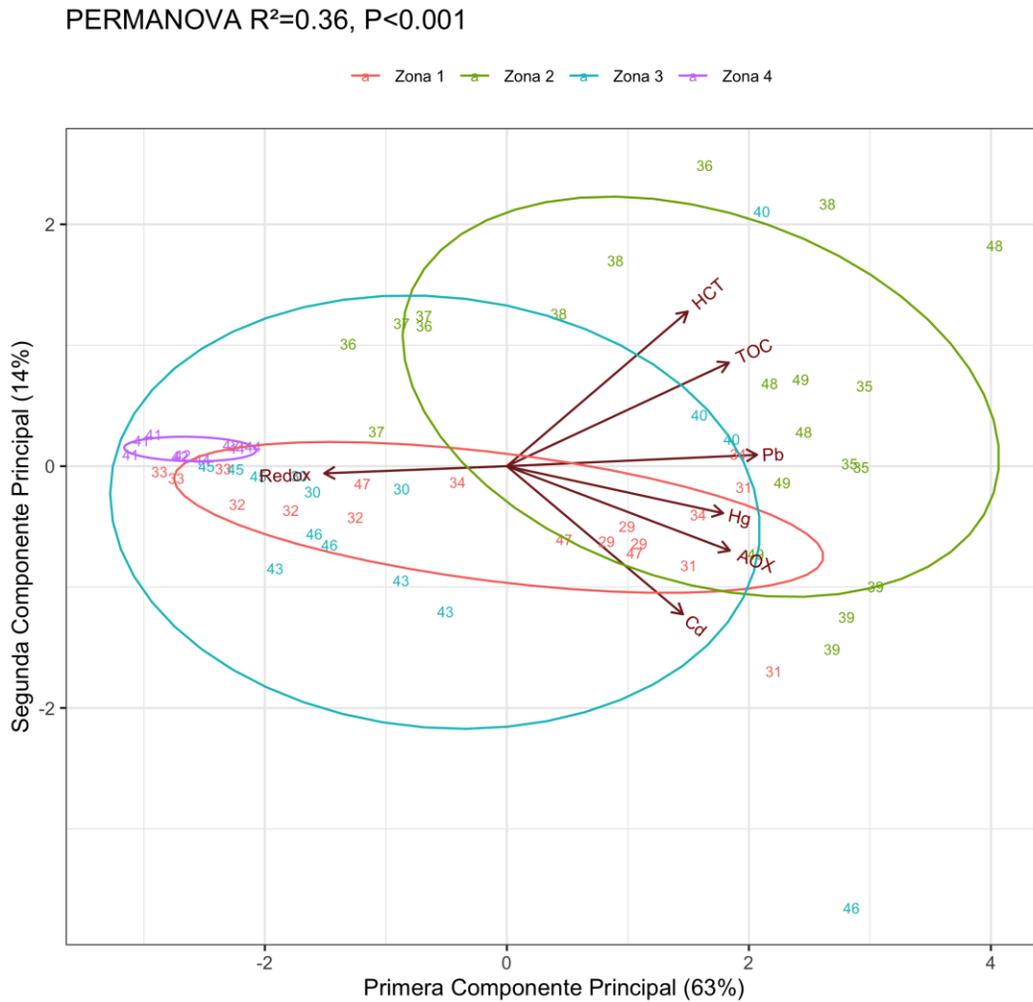


Figura 71. Resultado del análisis de componentes principales efectuado para los parámetros medidos transversalmente en sedimentos submareales en las 3 campañas de monitoreo. Puntajes numerados por estación de monitoreo y clasificados por Zona.

PERMANOVA $R^2=0.01$, $P=0.827$

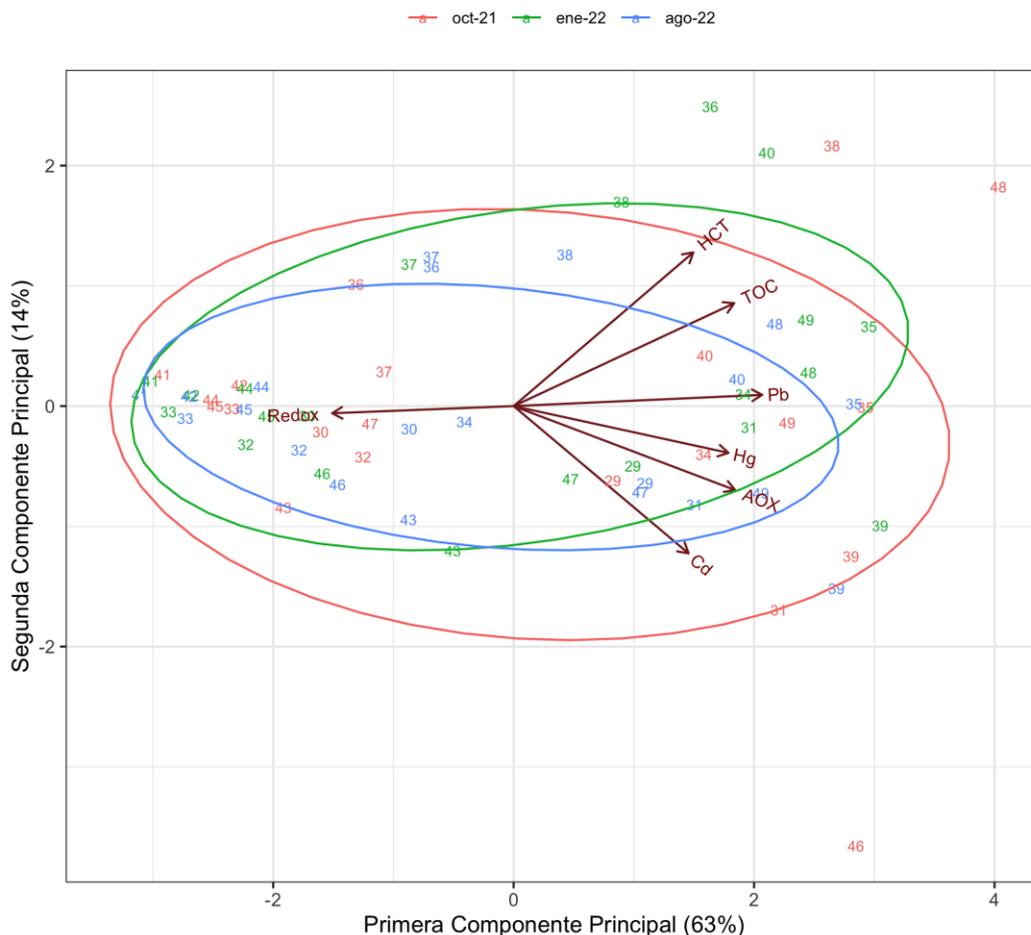


Figura 72. Resultado del análisis de componentes principales efectuado para los parámetros medidos transversalmente en sedimentos submareales en las 3 campañas de monitoreo. Puntajes numerados por estación de monitoreo y clasificados por Campaña.

4.1.4.4 Sedimentos del intermareal y estuarios

Un análisis de la composición granulométrica en sedimentos de estuario (Estaciones 1 y 2) e intermareales (Estaciones permite observar alta consistencia entre las granulometrías de las 3 campañas de muestreo, con una mayor proporción de arenas gruesas en estaciones de muestreo de las Zonas 1 y 2, y un incremento gradual en la presencia de arenas finas en las estaciones de muestreo de la Zona 2 (Estaciones 12 y 13), Zona 3 (Estaciones 15 y 16) y Zona 4 (Estaciones 19 y 20) (**Figura 73**).

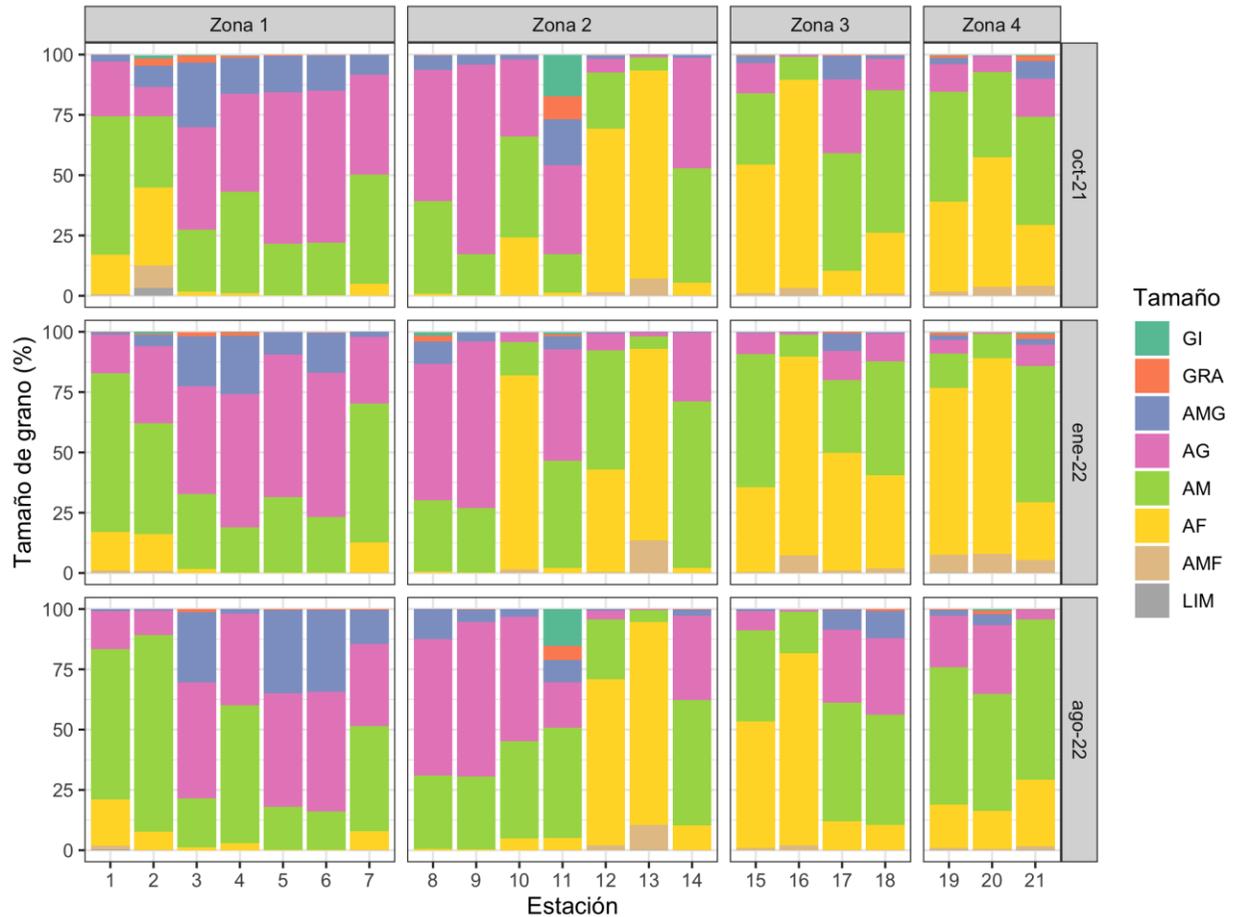


Figura 73. Composición granulométrica de sedimentos del submareal por Estación, Zona y Campaña de monitoreo.

El resultado del PCA efectuado para el total de mediciones ejecutadas transversalmente por estación para las 3 campañas de muestreo, revela que las 2 primeras componentes principales alcanzan a explicar un 64% de la variabilidad contenida en la base de datos (**Figura 74**) y que la diferenciación entre zonas de muestreo resulta estadísticamente significativa ($P < 0,001$) explicando un 13% de la ordenación (PERMANOVA $R^2 = 0,13$), observándose una diferenciación asociada las mayores concentraciones de Pb, Hg, carbono orgánico total e hidrocarburos totales en las estaciones de muestreo 11 y 12 (Zona 2), así como mayores concentraciones de AOX en la estación 16 (Zona 3) y de Cd en la estación 2 (Zona 1, campaña de enero 2022).

Al clasificar la ordenación por campañas de muestreo se aprecia una menor diferenciación que la observada entre zonas (**Figura 75**), la cual no resulta estadísticamente significativa ($P = 0,08$) y logra explicar un 5% de la variabilidad en la ordenación.

Este resultado sugiere que, similar a lo observado en los sedimentos del submareal, para los sedimentos de estuarios e intermareal existe una diferenciación espacial que resulta más evidente que la diferenciación temporal, observándose que en las estaciones de muestreo 11 y 12 (Zona 2) se observan las mayores concentraciones de Pb, Hg, carbono orgánico total e hidrocarburos totales, mientras que en la estación 16 (Zona 3) se observan las como mayores concentraciones de AOX.

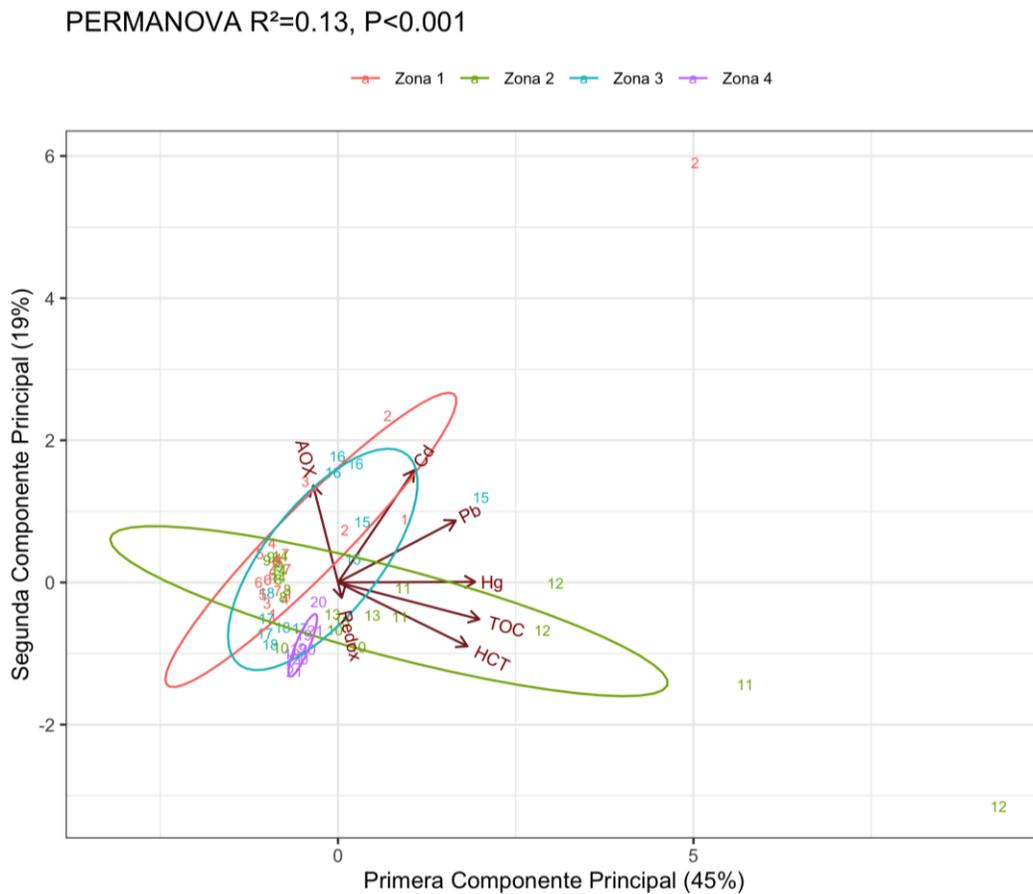


Figura 74. Resultado del análisis de componentes principales efectuado para los parámetros medidos transversalmente en sedimentos de estuario e intermareales para las 3 campañas de monitoreo. Puntajes numerados por estación de monitoreo y clasificados por Zona.

PERMANOVA $R^2=0.01$, $P=0.827$

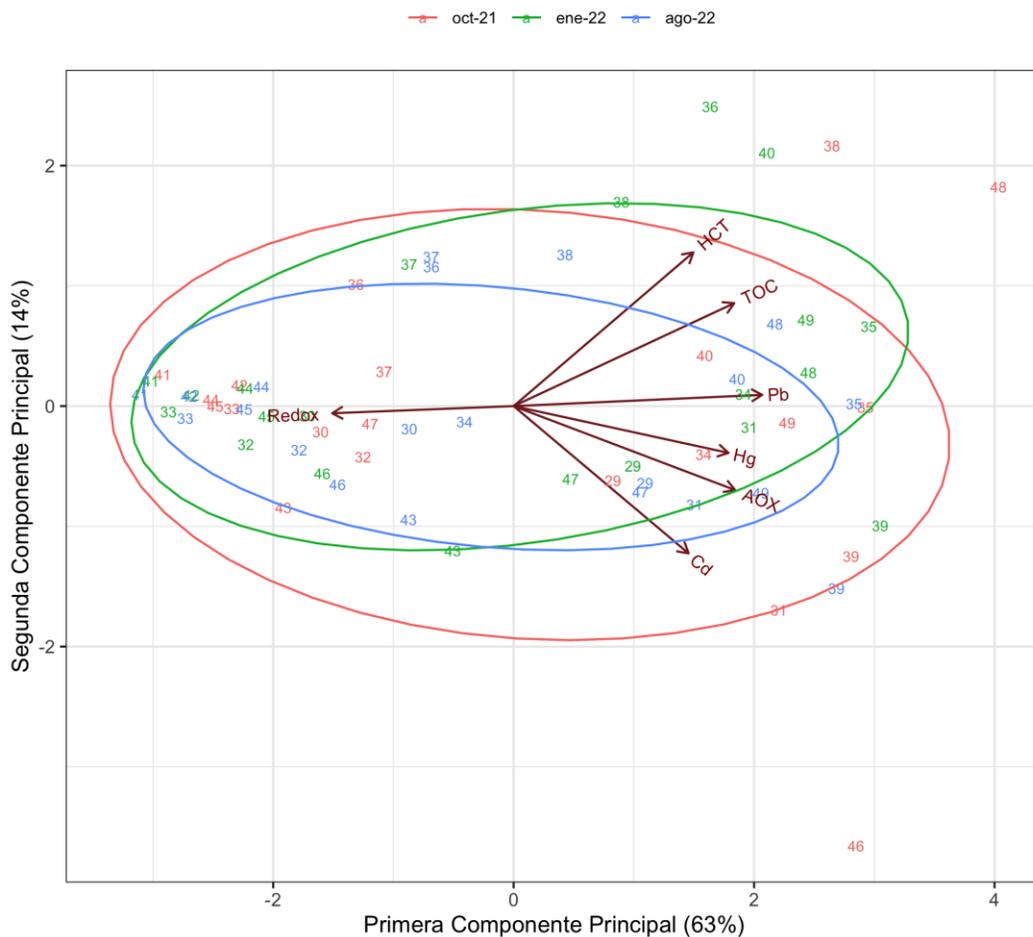


Figura 75. Resultado del análisis de componentes principales efectuado para los parámetros medidos transversalmente en sedimentos submareales en las 3 campañas de monitoreo. Puntajes numerados por estación de monitoreo y clasificados por Campaña.

4.2 Comunidades biológicas

4.2.1 Submareal

Los resultados preliminares de la biodiversidad de la macrofauna bentónica residente en el Golfo de Arauco y reportados en este, corresponden a la campaña de octubre 2021, enero y agosto 2022, y son presentados de acuerdo a la zonación de estaciones de muestreos preestablecida. Se entregan además los resultados de la macrofauna bentónica presente en las estaciones de muestreo ubicadas en la desembocadura del Río Biobío (Estaciones 1 y 2).

4.2.1.1 Campaña octubre 2021

La taxonomía general registrada para toda el área de estudio en el Golfo de Arauco, y para un 100% de las muestras analizadas, estuvo conformada por un total de 67 especies/taxa, distribuida porcentualmente por los siguientes grupos mayores: Annelida (73,85 %), Arthropoda (16,90 %), Mollusca (7,97 %), Nemertea (0,99 %), Echinodermata 0,17 %, Sipuncula (0,07 %), Priapulida (0,02 %) y Chordata (0,02 %) (**Figura 76**). El grupo Annelida, y más abundante, estuvo conformado en un 100 % por Polychaeta, el grupo Arthropoda, segundo en abundancia total, estuvo conformado principalmente por Malacostraca, mientras que el tercer grupo en abundancia Mollusca estuvo representado por Gastropoda y Bivalvia.

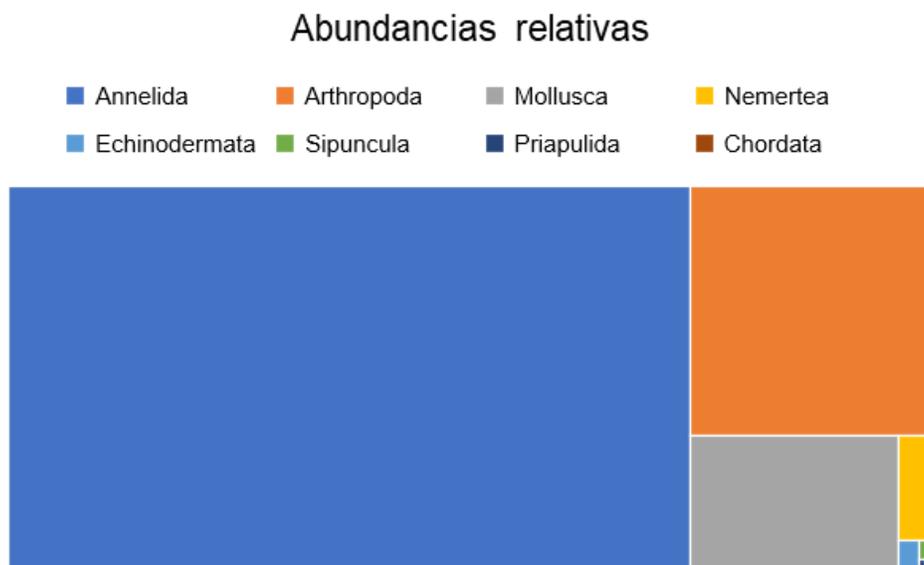


Figura 76. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo dentro del Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada en este muestreo de octubre 2021.

Espacialmente, en la Zona Desembocadura del Biobío, el grupo Annelida presentó una abundancia relativa de un 79,6 % y el grupo Arthropoda alcanzó al 20,4 % de la abundancia relativa (**Figura 77**). La Zona 1, estuvo representada porcentualmente en sus abundancias relativas por los grupos Annelida (75,0 %), Arthropoda (18,9 %), Mollusca (4,4 %), Nemertea (1,4 %), Sipuncula (0,2 %) y Chordata (0,08 %) (**Figura 78**). La Zona 2, estuvo representada porcentualmente en sus abundancias relativas por los grupos Annelida (87,1 %), Arthropoda (8,4 %), Mollusca (3,6 %), Echinodermata (0,4 %), Nemertea (0,3 %) y Priapulida (0,06 %) (**Figura 79**). La Zona 3, estuvo representada porcentualmente en sus abundancias relativas por los grupos Annelida (77,6 %), Mollusca (14,1 %), Arthropoda (7,1 %), Nemertea (1,1 %) y Echinodermata (**Figura 80**). La Zona 4, estuvo representada porcentualmente en sus abundancias relativas por los grupos Annelida (53,2 %), Arthropoda (41,1 %), Mollusca (4,9 %) y Nemertea (0,8 %) (**Figura 81**).

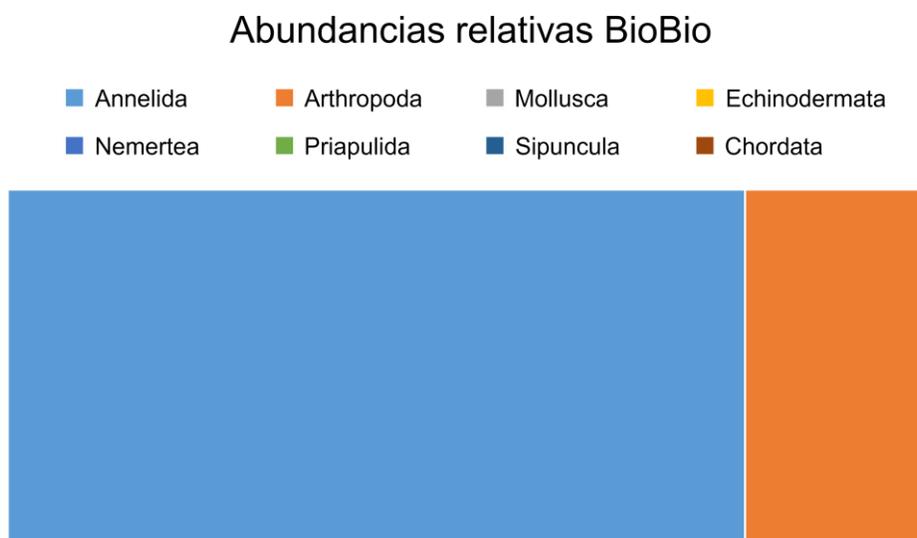


Figura 77. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona Biobío. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de octubre 2021.

Abundancias relativas Zona 1

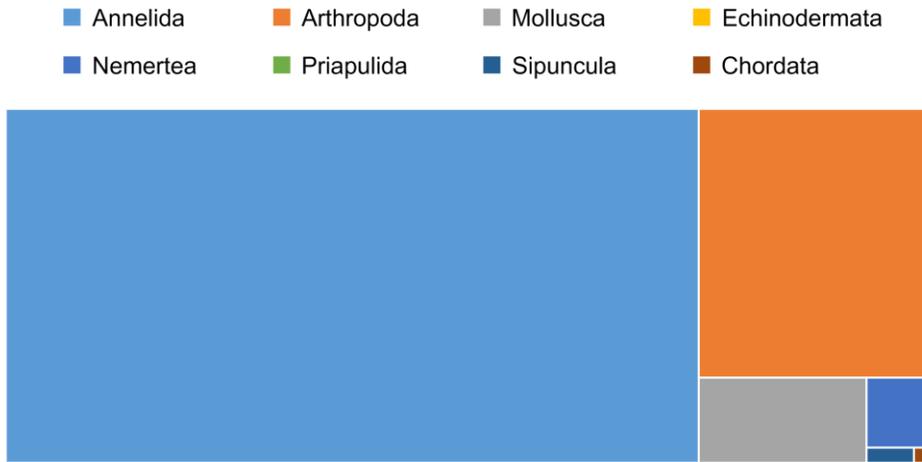


Figura 78. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 1. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de octubre 2021.

Abundancias relativas Zona 2



Figura 79. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 2. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de octubre 2021.

Abundancias relativas Zona 3



Figura 80. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 3. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de octubre 2021.

Abundancias relativas Zona 4

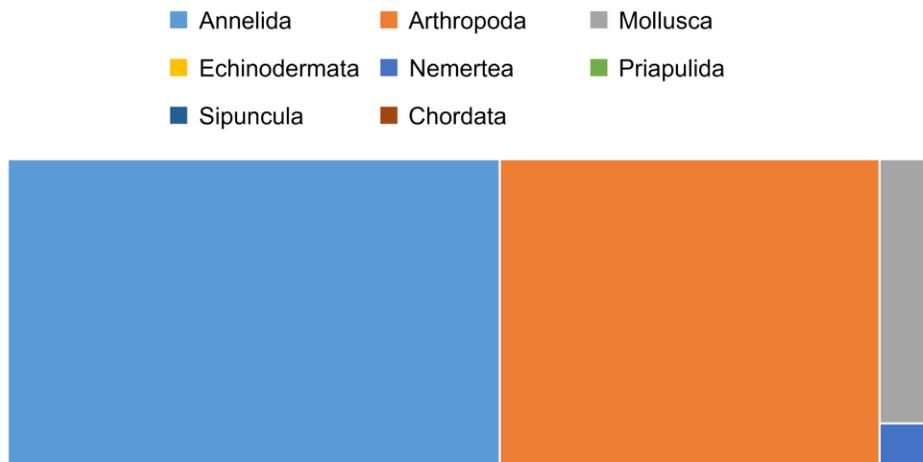


Figura 81. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 4. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de octubre 2021.

En relación a las abundancias totales, las 4 Zonas de muestreo presentaron una alta variabilidad entre sus estaciones. En términos de sus valores promedio, la Zona 3 es la que presentó el mayor valor, cercano a 130 ind/0,15 m² y, la Zona 4 fue la que presentó el menor valor, cercano a 100 ind/0,15 m² (**Figura 82**). En términos comparativos, la abundancia promedio de las estaciones ubicadas en el Río Biobío presentaron el menor valor de abundancia total, cercano a 12 ind/0,15 m² (**Figura 82**).

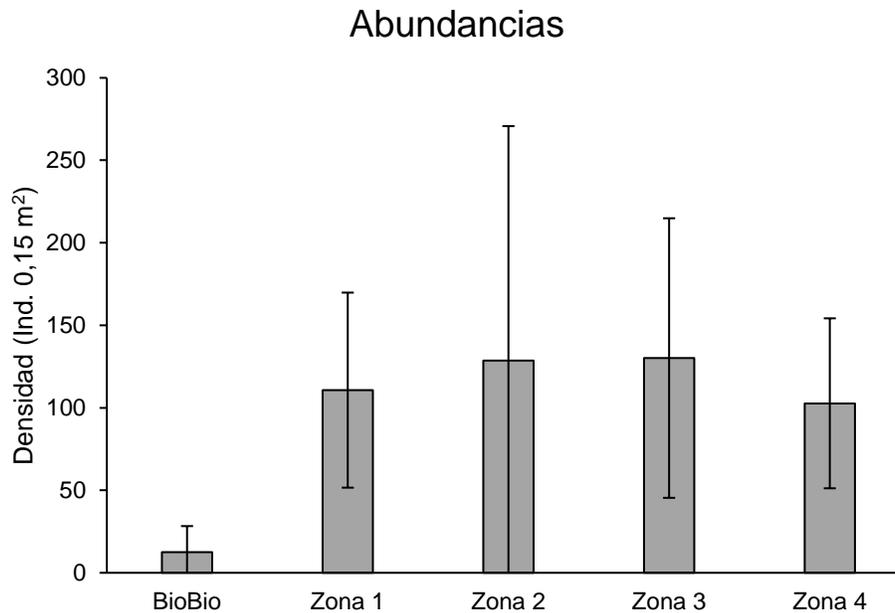


Figura 82. Abundancias totales promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo por Zona dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña octubre 2021.

La riqueza de especies/*taxa* también presentó una alta variabilidad dentro de cada Zona de muestreo. En términos de sus valores promedio, las Zonas 1 y 3 presentaron los más altos y cercanos a 12 *taxa*. La Zona 2 fue la que presentó el menor valor, cercano a 9 *taxa* (**Figura 83**). En términos comparativos, la riqueza promedio de especies/*taxa* de las estaciones ubicadas en el río Biobío presentaron el menor valor, cercano a 3 (**Figura 83**).

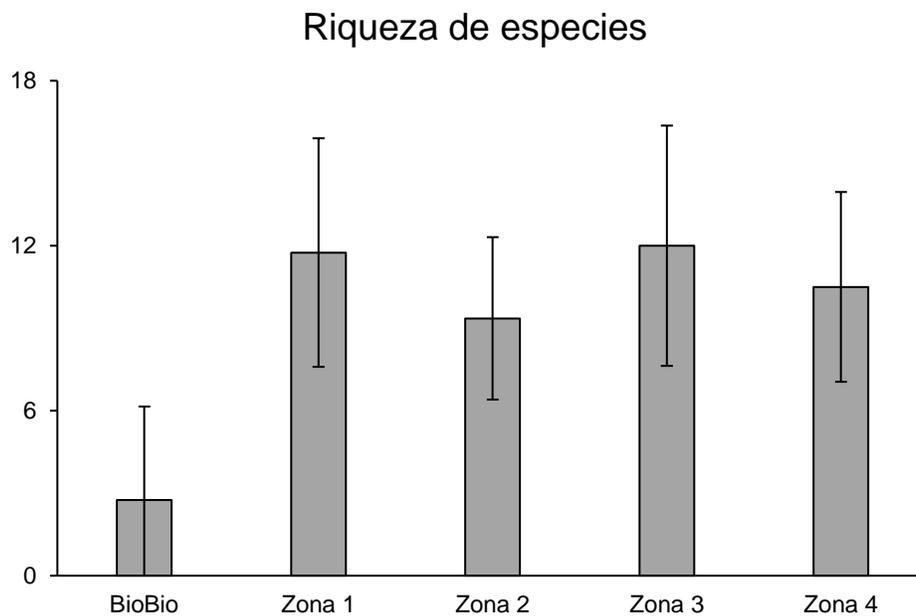


Figura 83. Riqueza de especies/*taxa* promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por Zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña octubre 2021.

La diversidad de Shannon-Wiener también presentó una importante variabilidad dentro de cada Zona de muestreo. En términos de sus valores promedio, las 4 Zonas presentaron un valor cercano a 1,6 (**Figura 84**). En términos comparativos, la diversidad de Shannon-Wiener promedio de las estaciones ubicadas en el Río Biobío presentaron el menor valor para este indicador comunitario, cercano a 0,7, además de la mayor variabilidad entre estaciones de muestreo por Zona (**Figura 84**).

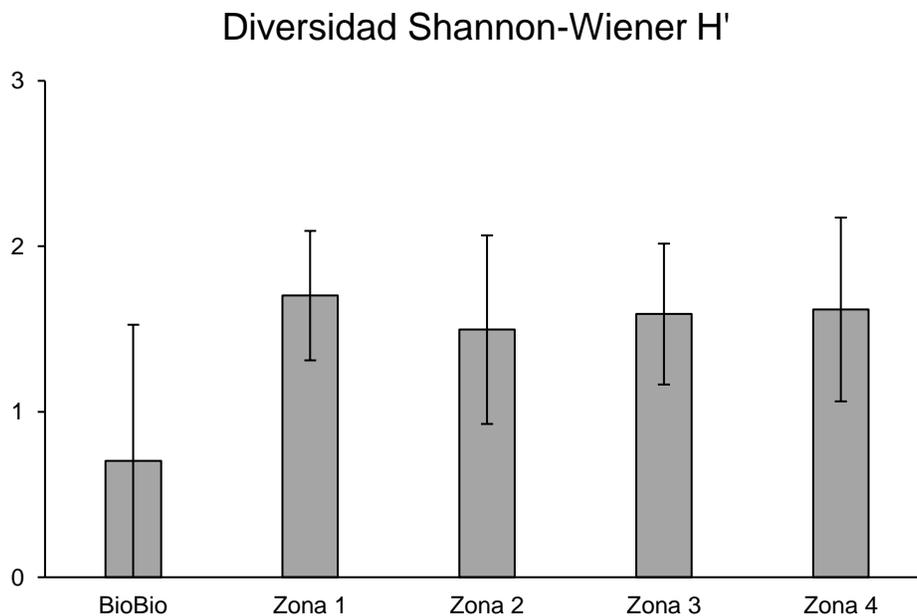


Figura 84. Diversidad de Shannon-Wiener (H') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña octubre 2021.

La equidad de Pielou (J'), al igual que la diversidad de Shannon-Wiener presentó una importante variabilidad dentro de cada Zona de muestreo. En términos de sus valores promedio, la Zona 1 presentó el mayor valor, cercano a 0,7 y, la Zona 3 el menor, cercano a 0,65 (**Figura 85**). En términos comparativos, la equidad de Pielou promedio de las estaciones ubicadas en el Río Biobío presentaron el mayor valor para este indicador comunitario, con una menor variabilidad y cercano a 0,85 (**Figura 85**).

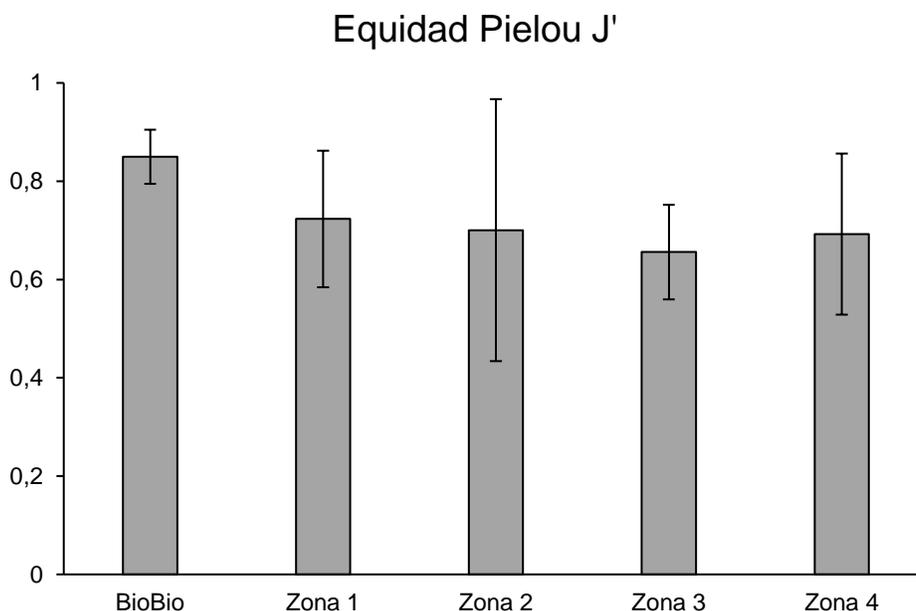


Figura 85. Equidad de Pielou (J') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña octubre 2021.

La dominancia de Simpson (λ), al igual que la diversidad de Shannon-Wiener y equidad de Pielou presentó una alta variabilidad dentro de cada Zona de muestreo. En relación de sus valores promedio, las 4 Zonas de muestreo presentaron un valor cercano a 0,3 (**Figura 86**). En términos comparativos, la dominancia de Simpson promedio de las estaciones ubicadas en el Río Biobío presentó un valor similar para este indicador comunitario, y cercano a 0,28 (**Figura 86**).

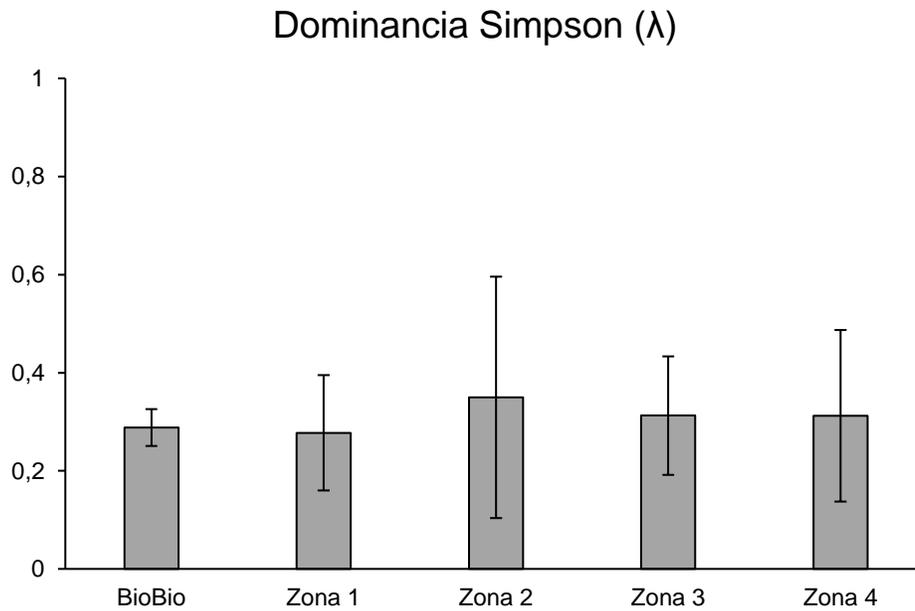


Figura 86. Dominancia de Simpson (λ) promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña octubre 2021.

4.2.1.2 Campaña enero 2022

La taxonomía general registrada en la campaña de muestreo de enero del año 2022 para toda el área de estudio en el Golfo de Arauco, con un 100% de las muestras analizadas, estuvo conformada por un total de 66 especies/taxa, distribuida porcentualmente en los siguientes grupos mayores: Annelida (91,56 %), Arthropoda (4,25 %), Mollusca (3,16 %), Cnidaria (0,64 %), Nemertea (0,2 %), Chordata (0,08 %), Echinodermata (0,067 %) y Hemichordata (0,027 %) (**Figura 87**). El grupo Annelida, y más abundante, estuvo conformado en un 100 % por Polychaeta, el grupo Arthropoda, segundo en abundancia total, estuvo conformado principalmente por Malacostraca, mientras que el tercer grupo en abundancia Mollusca, estuvo representado principalmente por Bivalvia y Gastropoda.

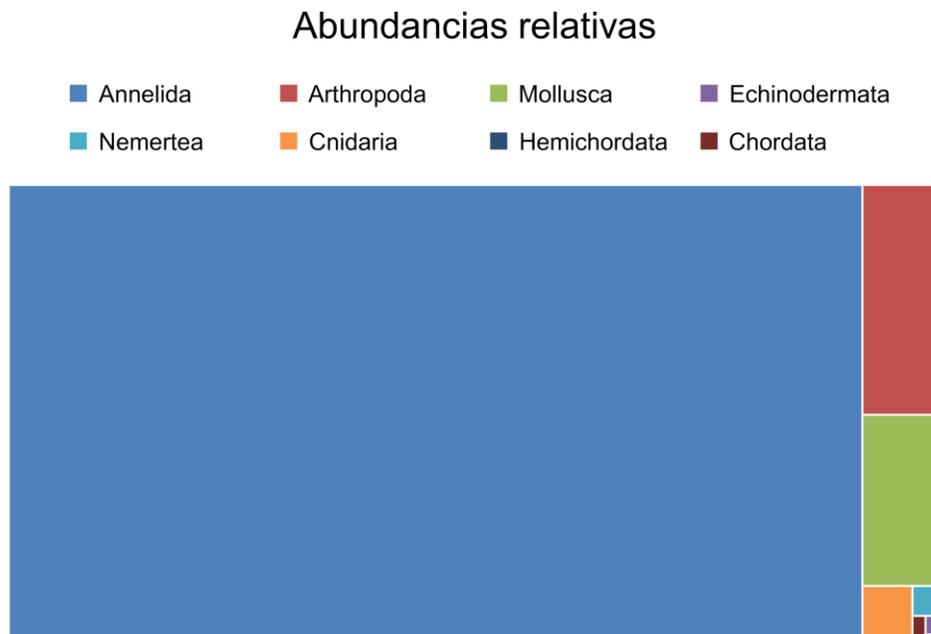


Figura 87. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo dentro del Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada en este muestreo de enero 2022.

Especialmente, en la Zona BioBio, el grupo Arthropoda, presentó una abundancia relativa de un 80,0 % y, el otro grupo presente, Annelida tuvo un 20,0 % de la abundancia relativa (**Figura 88**). La Zona 1, estuvo representada porcentualmente en sus abundancias relativas por los grupos Arthropoda (52,81 %), Annelida (44,09 %), Mollusca (2,29 %), Cnidaria (0,37 %), Chordata (0,31 %), Nemertea (0,06 %) y Echinodermata (0,06 %) (**Figura 89**). La Zona 2, estuvo representada porcentualmente en sus abundancias relativas por los grupos Annelida (88,2 %), Arthropoda (7,65

%), Mollusca (2,57 %), Cnidaria (1,42 %) y Echinodermata (0,14 %) (**Figura 90**). La Zona 3, estuvo representada porcentualmente en sus abundancias relativas por los grupos Annelida (80,04 %), Arthropoda (15,54 %), Mollusca (3,78 %), Nemertea (0,49 %), Hemichordata (0,08 %), Cnidaria (0,04 %) y Chordata (0,04 %) (**Figura 91**). La Zona 4, estuvo representada porcentualmente en sus abundancias relativas por los grupos Arthropoda (59,36 %), Annelida (32,65 %), Mollusca (7,53 %) y Nemertea (0,46 %) (**Figura 92**).

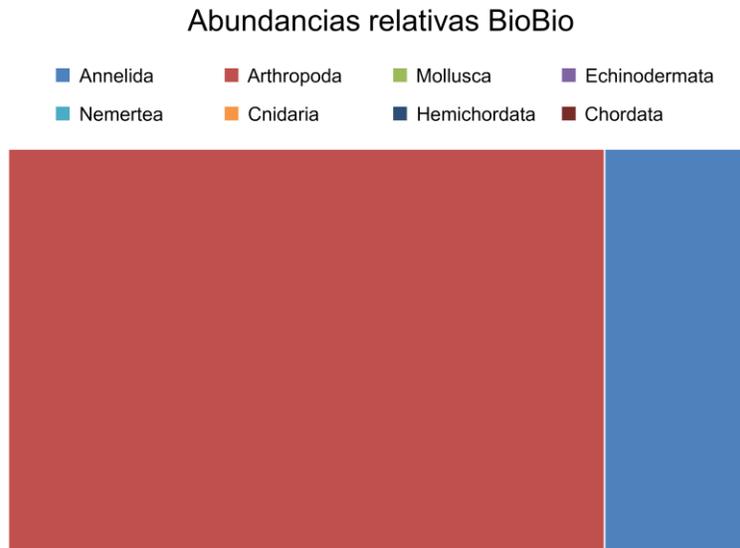


Figura 88. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona Biobío. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de enero 2022.

Abundancias relativas Zona 1

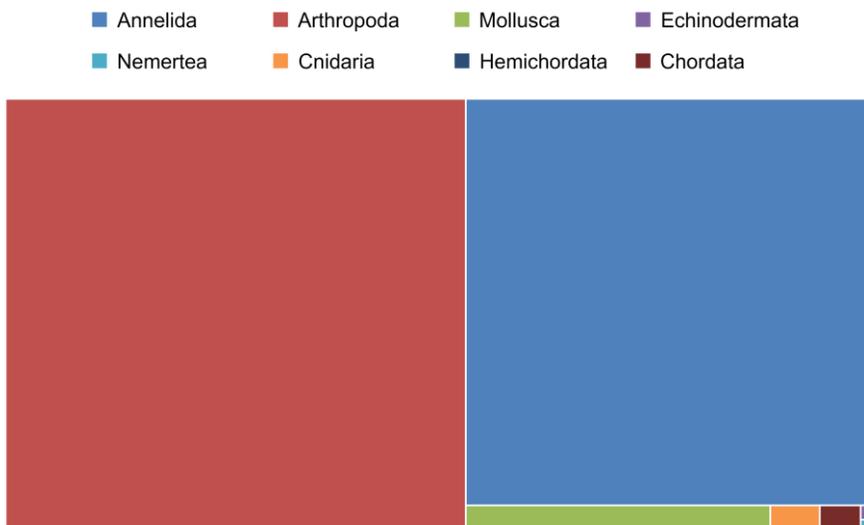


Figura 89. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 1. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de enero 2022.

Abundancias relativas Zona 2

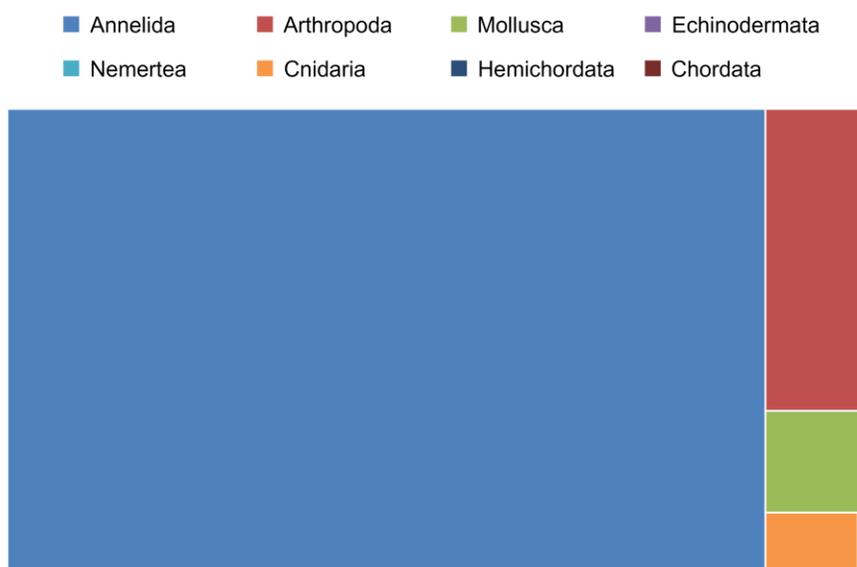


Figura 90. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 2. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de enero 2022.

Abundancias relativas Zona 3

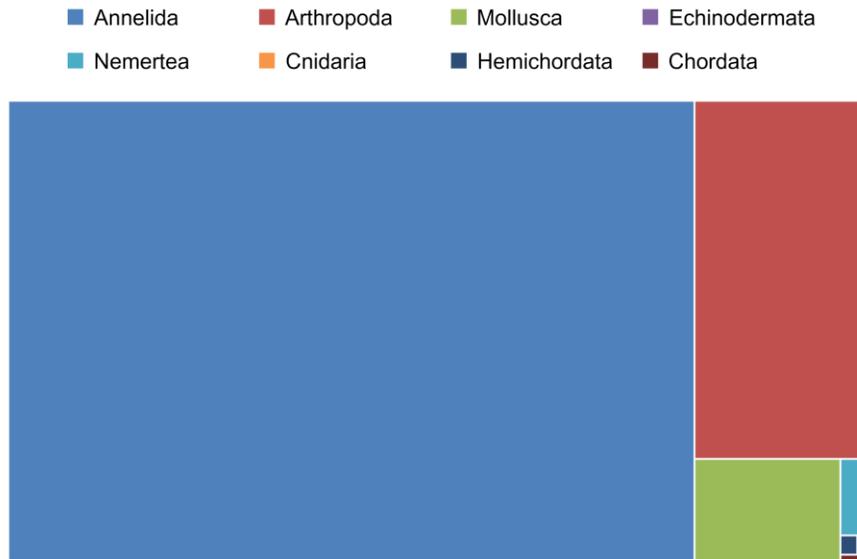


Figura 91. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 3. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de enero 2022.

Abundancias relativas Zona 4

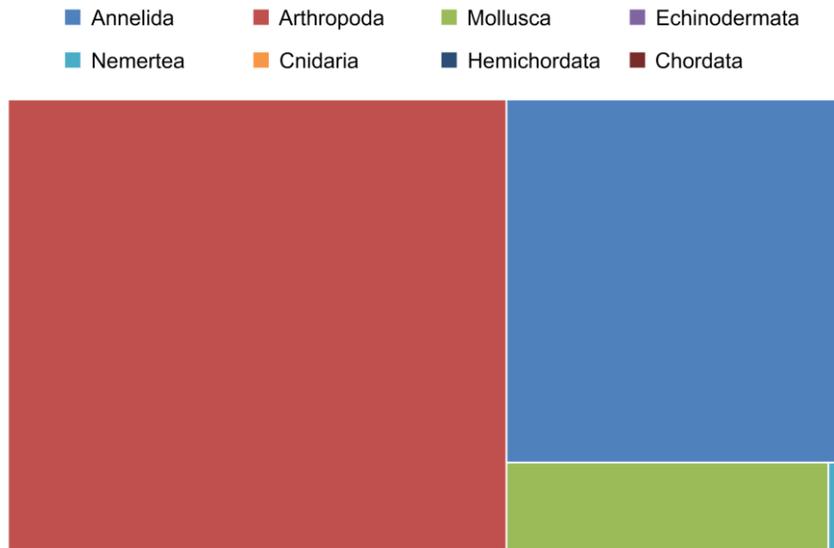


Figura 92. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 4. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de enero 2022.

En relación con las abundancias totales, las 4 Zonas de muestreo presentaron una alta variabilidad entre sus estaciones. En términos de sus valores promedio, la Zona 3 es la que presentó el mayor valor, cercano a 250 ind/0,15 m² y, la Zona 4 fue la que presentó el menor valor, cercano a 75 ind/0,15 m² (**Figura 93**). En términos comparativos, la abundancia promedio de las estaciones ubicadas en el Río Biobío presentaron el menor valor de abundancia total, cercano a 5 ind/0,15 m² (**Figura 93**).

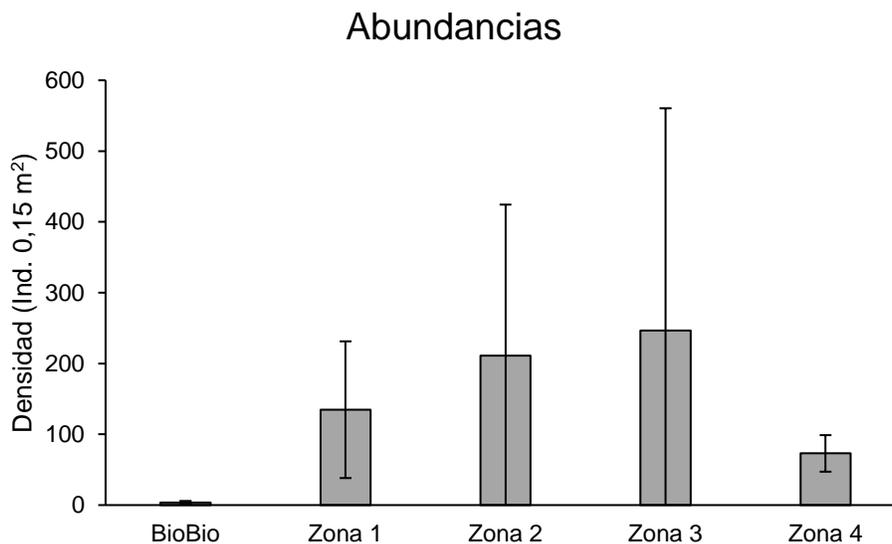


Figura 93. Abundancias totales promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo por Zona dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña enero 2022.

La riqueza de especies/taxa presentó una alta variabilidad dentro de cada Zona de muestreo. En términos de sus valores promedio, la Zona 3 presentó el más alto y cercano a 17 taxa. Las Zona 1, 2 y 4 presentaron los menores valores promedio, cercano a 10 taxa (**Figura 94**). En términos comparativos, la riqueza promedio de especies/taxa de las estaciones ubicadas en el Río Biobío presentaron el menor valor, cercano a 2 (**Figura 94**).

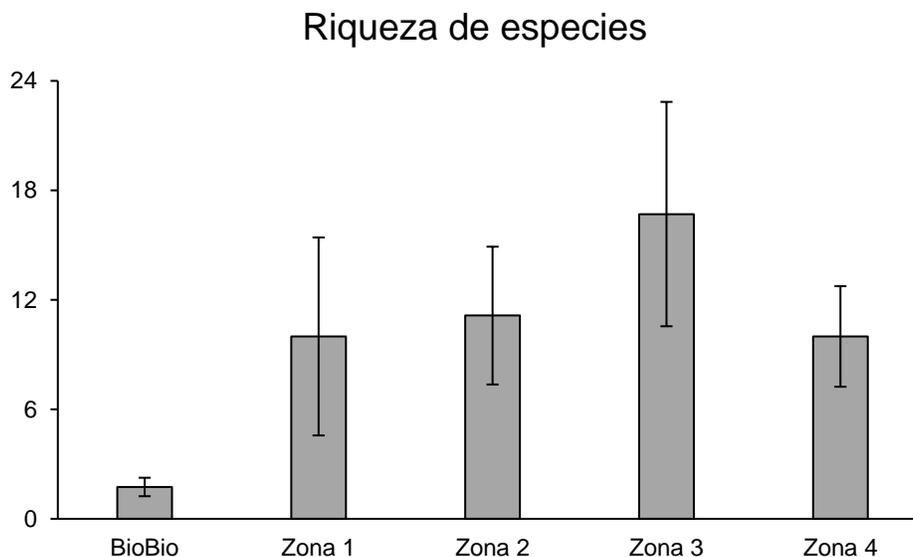


Figura 94. Riqueza de especies/taxa promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por Zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña enero 2022.

La diversidad de Shannon-Wiener también presentó una importante variabilidad dentro de cada Zona de muestreo. En términos de sus valores promedio, las Zonas 1 y 2 presentaron un valor cercano a 1,2, mientras que, la Zona 3 presentó el valor más alto y cercano a 2 (**Figura 95**). En términos comparativos, la diversidad de Shannon-Wiener promedio de las estaciones ubicadas en el Río Biobío presentaron el menor valor para este indicador comunitario, cercano a 0,4 (**Figura 95**).

Diversidad Shannon-Wiener H'

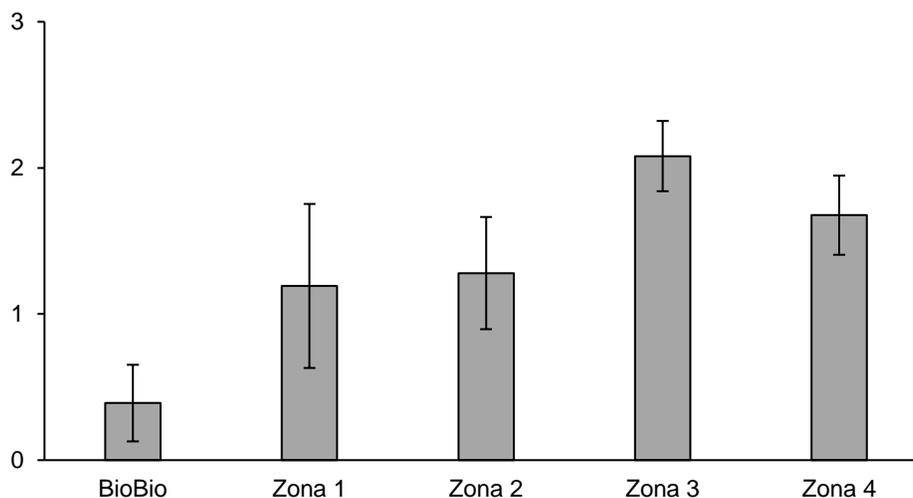


Figura 95. Diversidad de Shannon-Wiener (H') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña enero 2022.

La equidad de Pielou (J'), al igual que la diversidad de Shannon-Wiener presentó una importante variabilidad dentro de cada Zona de muestreo. En términos de sus valores promedio, las Zonas 3 y 4 presentaron el mayor valor, cercano a 0,7, mientras que, las Zonas 1 y 2 el menor, y cercano a 0,5 (**Figura 96**). En términos comparativos, la equidad de Pielou promedio de las estaciones ubicadas en el Río Biobío presentaron un valor alto para este indicador comunitario, y cercano a 0,7 (**Figura 96**).

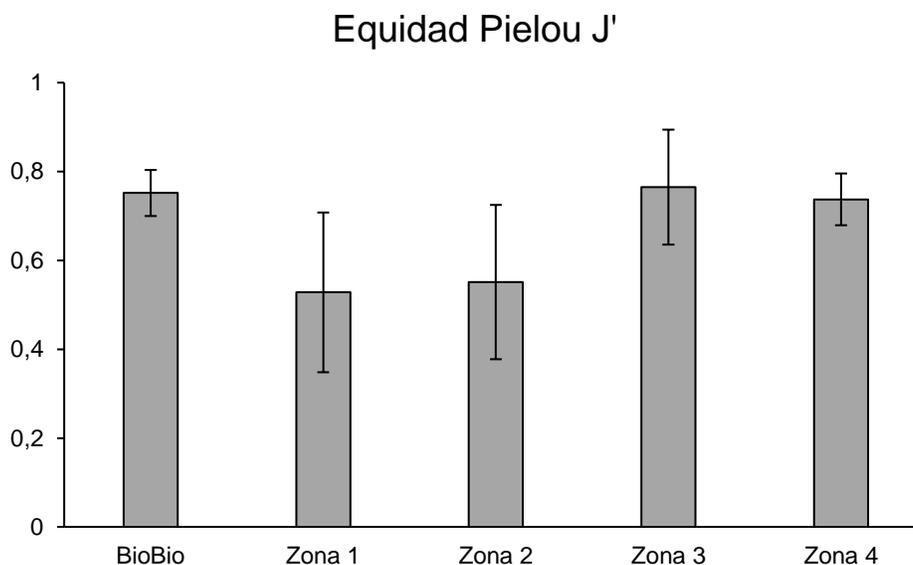


Figura 96. Equidad de Pielou (J') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña enero 2022.

La dominancia de Simpson (λ), al igual que la diversidad de Shannon-Wiener y equidad de Pielou presentó una alta variabilidad dentro de cada Zona de muestreo. En relación a sus valores promedio, las Zonas de muestreo 1 y 2 presentaron un valor cercano a 0,45 y la Zona 3, cercano a 0,2 (**Figura 97**). En términos comparativos, la dominancia de Simpson promedio de las estaciones ubicadas en el Río Biobío presentó el valor más alto para este indicador comunitario, y cercano a 0,75 (**Figura 97**).

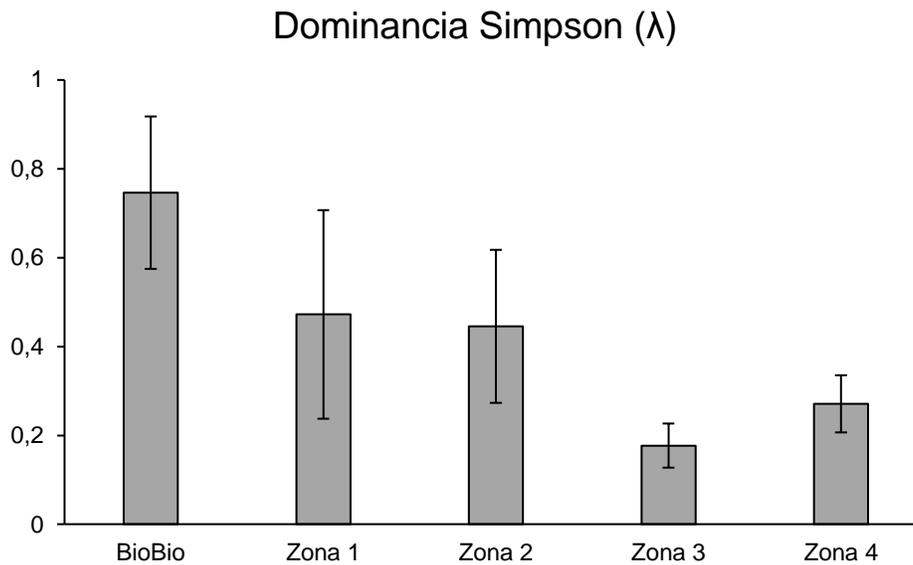


Figura 97. Dominancia de Simpson (J') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña enero 2022.

4.2.1.3 Campaña agosto 2022

La taxonomía general registrada en la campaña de muestreo de agosto del año 2022 para toda el área de estudio en el Golfo de Arauco, con un 100% de las muestras analizadas, estuvo conformada por un total de 86 especies/*taxa*, distribuida porcentualmente en los siguientes grupos mayores: Annelida (96,84 %), Arthropoda (1,61 %), Mollusca (0,97 %), Echinodermata (0,34 %), Hemichordata (0,13 %), Chordata (0,07 %), Cnidaria (0,03 %) y Nemertea (0,002 %) (**Figura 98**). El grupo Annelida, y más abundante, estuvo conformado casi en un 100 % por Polychaeta, el grupo Arthropoda, segundo en abundancia total, estuvo conformado principalmente por Malacostraca y Ostracoda, mientras que el tercer grupo en abundancia Mollusca, estuvo representado principalmente por Bivalvia y Gastropoda.

Abundancias relativas



Figura 98. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo dentro del Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada en este muestreo de agosto 2022.

Espacialmente, en la Zona BioBio, el grupo Arthropoda, presentó una abundancia relativa de un 72,7 % y, el otro grupo presente, Annelida tuvo un 27,3 % de la abundancia relativa (**Figura 99**). La Zona 1, estuvo representada porcentualmente en sus abundancias relativas por los grupos Annelida (98,36 %), Arthropoda (0,74 %), Cnidaria (0,38 %), Mollusca (0,36 %), Nemertea (0,12 %), Chordata (0,03 %) y Hemichordata (0,01 %) (**Figura 100**). La Zona 2, estuvo representada porcentualmente en sus abundancias relativas por los grupos Annelida (96,3 %), Mollusca (1,51 %), Arthropoda (1,45 %), Cnidaria (0,44 %), Chordata (0,14 %), Nemertea (0,07 %), Echinodermata (0,06 %) y Hemichordata (0,01 %) (**Figura 101**). La Zona 3, estuvo representada porcentualmente en sus abundancias relativas por los grupos Annelida (97,56 %), Arthropoda (1,12 %), Mollusca (1,01 %), Nemertea (0,28 %), Cnidaria (0,03 %) y Hemichordata (0,01 %) (**Figura 102**). La Zona 4, estuvo representada porcentualmente en sus abundancias relativas por los grupos Annelida (64,69 %), Arthropoda (33,26 %), Mollusca (1,38 %), Nemertea (0,46 %) y Cnidaria (0,23 %) (**Figura 103**).

Abundancias relativas BioBio

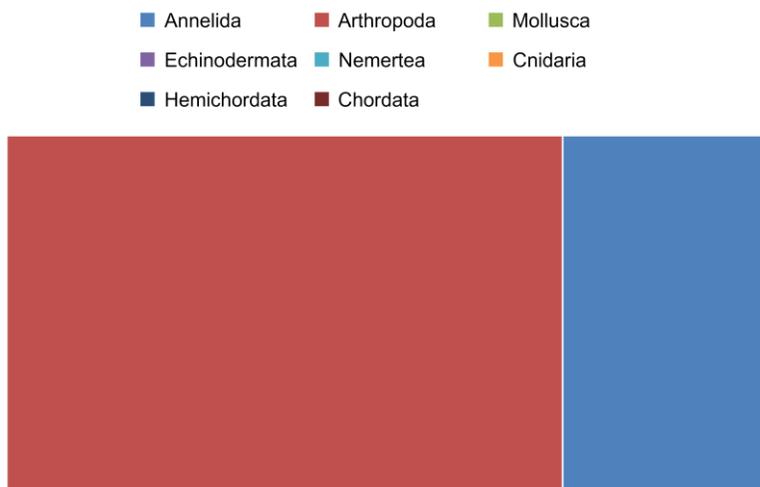


Figura 99. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona BioBio. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de agosto 2022.

Abundancias relativas Zona 1

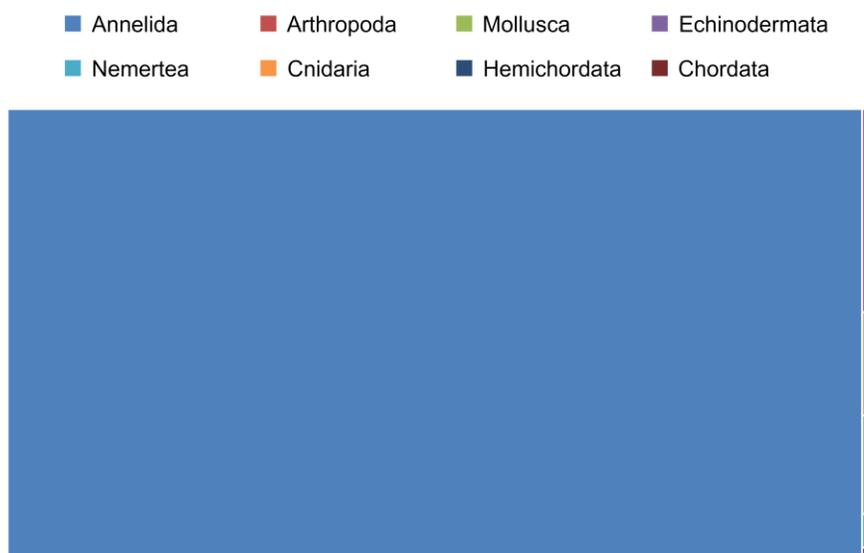


Figura 100. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 1. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de agosto 2022.

Abundancias relativas Zona 2

- Annelida
- Arthropoda
- Mollusca
- Echinodermata
- Nemertea
- Cnidaria
- Hemichordata
- Chordata



Figura 101. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 2. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de agosto 2022.

Abundancias relativas Zona 3

- Annelida
- Arthropoda
- Mollusca
- Echinodermata
- Nemertea
- Cnidaria
- Hemichordata
- Chordata



Figura 102. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 3. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de agosto 2022.

Abundancias relativas Zona 4

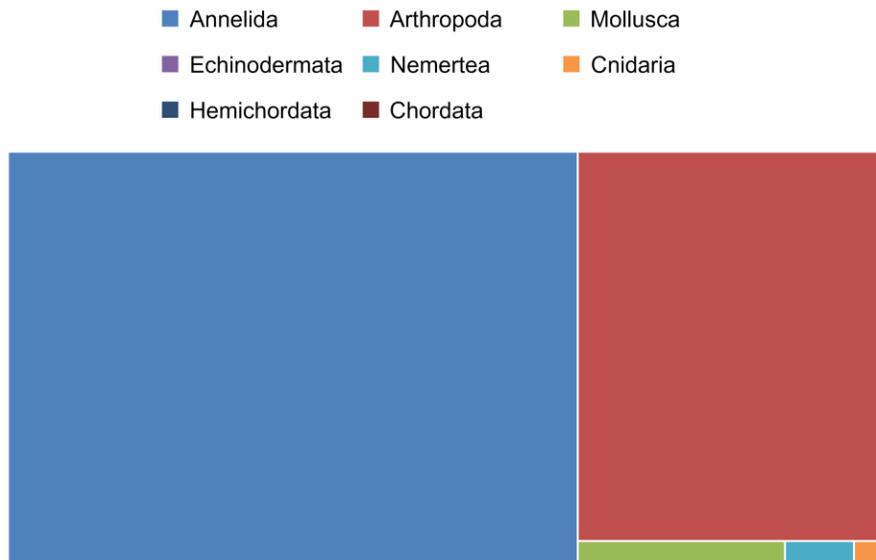


Figura 103. Abundancias relativas de los grupos taxonómicos mayores considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo de la Zona 4. El total de las áreas de colores representan el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada para esta Zona en el muestreo de agosto 2022.

En relación a las abundancias totales, las Zonas de muestreo 1, 2 y 3 presentaron una alta variabilidad entre sus estaciones. En términos de sus valores promedio, la Zona 1 es la que presentó el mayor valor, cercano a 2000 ind/0,15 m² y, la Zona 4 fue la que presentó el menor valor, cercano a 145 ind/0,15 m² (**Figura 104**). En términos comparativos, la abundancia promedio de las estaciones ubicadas en el Río Biobío presentaron el menor valor de abundancia total, cercano a 3 ind/0,15 m² (**Figura 104**).

La riqueza de especies/*taxa* presentó una alta variabilidad dentro de cada Zona de muestreo. En términos de sus valores promedio, la Zona 2 presentó el más alto y cercano a 25 *taxa*. La Zona 4 presentó el menor valor promedio, cercano a 16 *taxa* (**Figura 105**). En términos comparativos, la riqueza promedio de especies/*taxa* de las estaciones ubicadas en el Río Biobío presentaron el menor valor, cercano a 1 (**Figura 105**).

La diversidad de Shannon-Wiener también presentó una importante variabilidad dentro de cada Zona de muestreo. En términos de sus valores promedio, las Zonas 1 y 2 presentaron un valor

cercano a 1,5, mientras que, las Zonas 3 y 4 presentaron un valor más alto y cercano a 1,9 (Figura 73). En términos comparativos, la diversidad de Shannon-Wiener promedio de las estaciones ubicadas en el Río Biobio presentaron el menor valor para este indicador comunitario, cercano a 0,3 (**Figura 106**).

La equidad de Pielou (J'), al igual que la diversidad de Shannon-Wiener presentó una importante variabilidad dentro de cada Zona de muestreo. En términos de sus valores promedio, las Zonas 3 y 4 presentaron los valores mayores, cercano a 0,6 - 0,7, mientras que, las Zonas 1 y 2 los menores, y cercanos a 0,5 (**Figura 106**). En términos comparativos, la equidad de Pielou promedio de las estaciones ubicadas en el Río Biobio presentaron un valor alto para este indicador comunitario, y cercano a 0,76 (**Figura 107**).

La dominancia de Simpson (λ), al igual que la diversidad de Shannon-Wiener y equidad de Pielou presentó una alta variabilidad dentro de cada Zona de muestreo. Con relación a sus valores promedio, las Zonas de muestreo 1 y 2 presentaron un valor cercano a 0,35 y las Zonas 3 y 4, cercano a 0,23 (**Figura 108**). En términos comparativos, la dominancia de Simpson promedio de las estaciones ubicadas en el Río Biobio presentó el valor más alto para este indicador comunitario, y cercano a 0,6 (**Figura 108**).

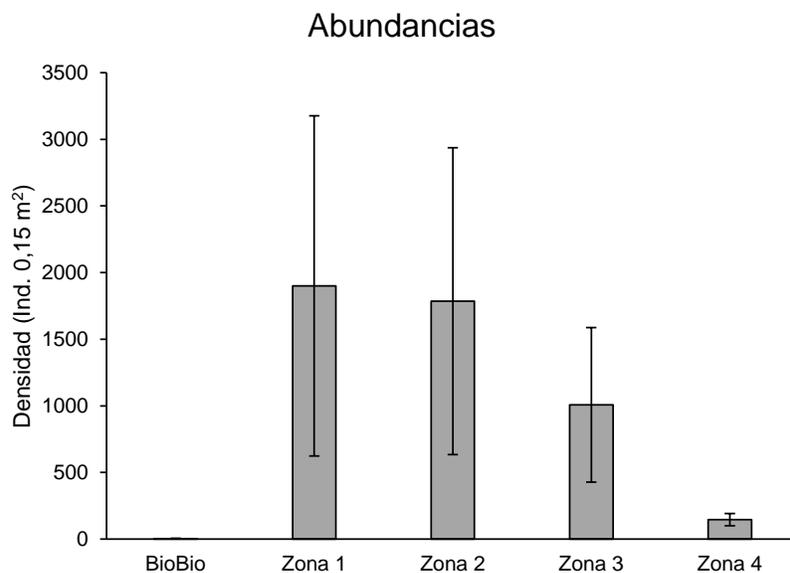


Figura 104. Abundancias totales promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones de muestreo por Zona dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña agosto 2022.

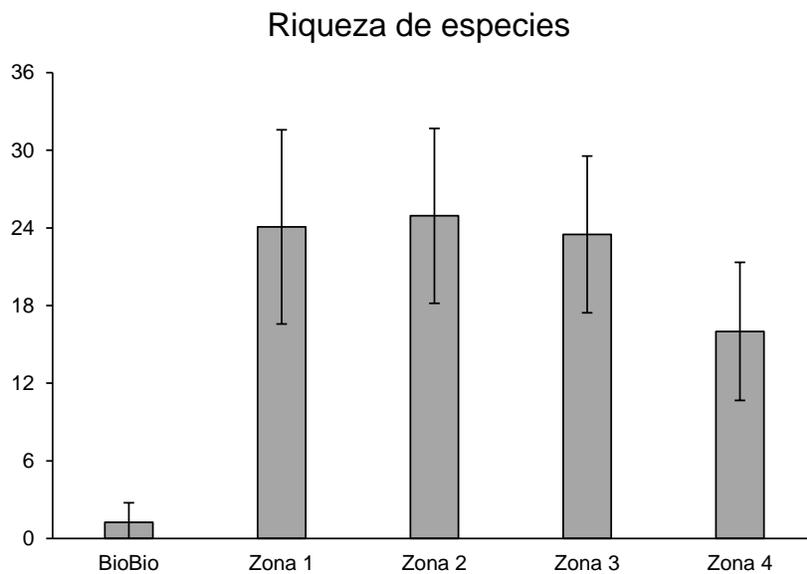


Figura 105. Riqueza de especies/*taxa* promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por Zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña agosto 2022.

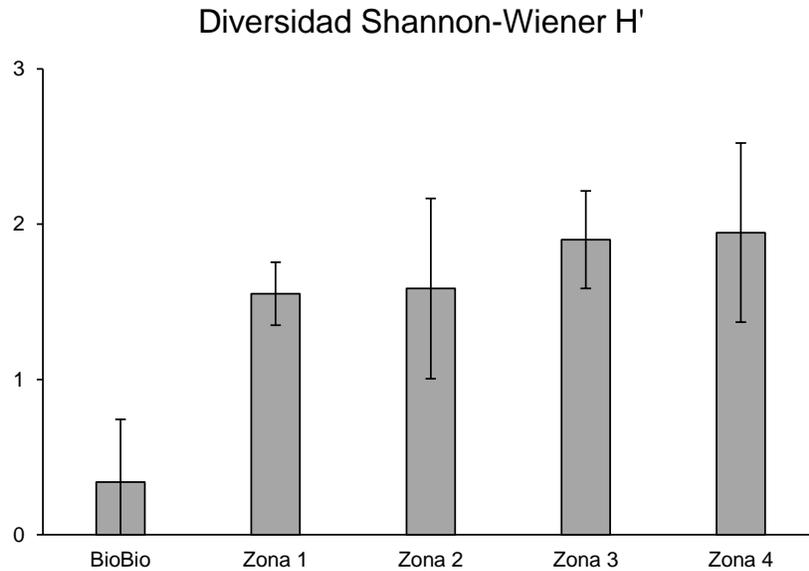


Figura 106. Diversidad de Shannon-Wiener (H') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña agosto 2022.

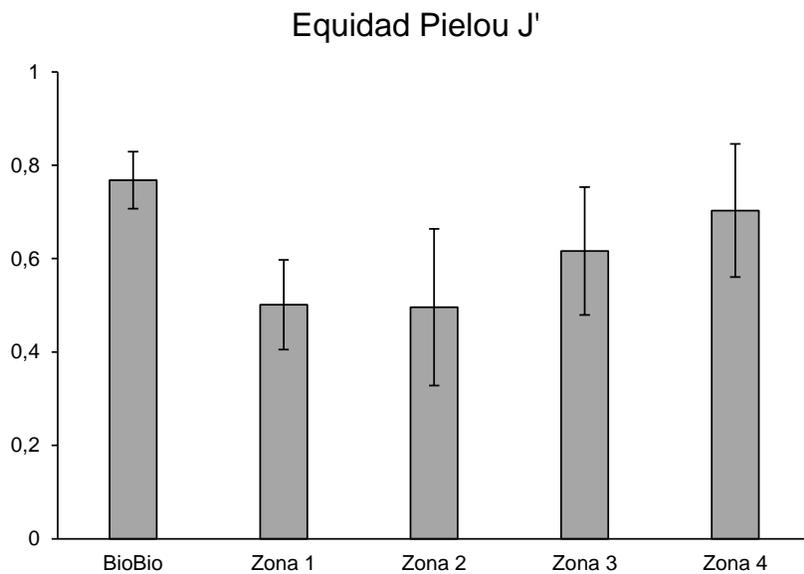


Figura 107. Equidad de Pielou (J') promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña agosto 2022.

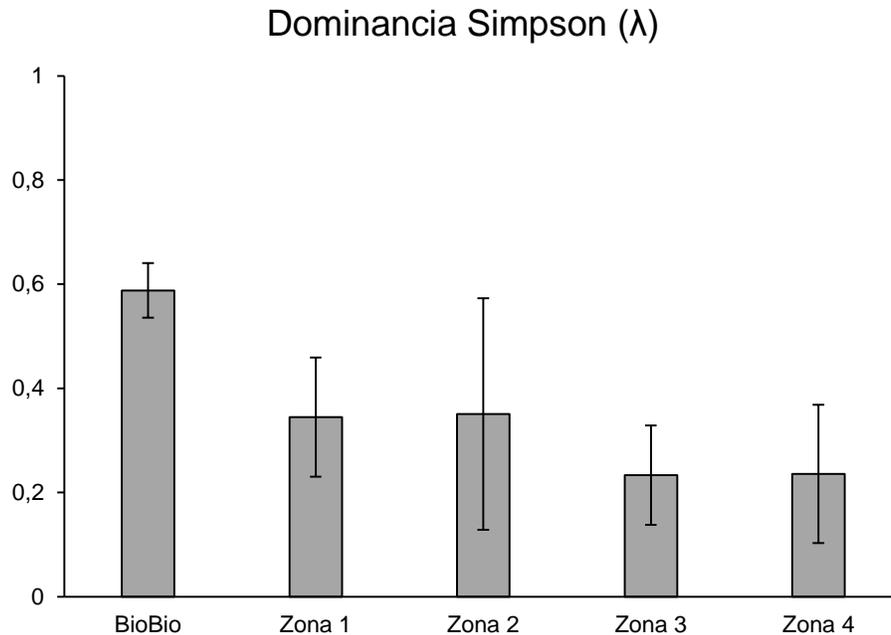


Figura 108. Dominancia de Simpson (λ) promedio de toda la macrofauna bentónica considerando en forma agrupada a todas las estaciones por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a la desviación estándar. Campaña agosto 2022.

4.2.1.4 Análisis integrado

Esta sección resume desde una perspectiva comparativa las abundancias relativas y los indicadores comunitarios univariados de la macrofauna bentónica, presentados por separado para cada una de las tres campañas de muestreo. Además, entrega un análisis estadístico integral bajo una perspectiva multivariada de las abundancias relativas obtenidas para las tres campañas de muestreo.

Desde el punto de vista de las abundancias relativas de los grupos mayores, y considerando todas las Zonas de estudio en el Golfo de Arauco, el Phylum Annelida, representado principalmente por la Clase Polychaeta dominó la macrofauna bentónica, con un rango porcentual entre el 77,37 % (Campaña 1) y 96,84 % (Campaña 3). Salvo algunas excepciones este patrón se observó para todas las Zonas y en los tres períodos de muestreo.

La dominancia de la Clase Polychaeta ha sido previamente reportada para la macrofauna bentónica en el Golfo de Arauco (Carrasco & Gallardo, 1983) y también, para otras zonas costeras

de la Región del Bio-Bio, como la Bahía de Concepción (Cárcamo et al., 2017) y la terraza del Itata (Veas et al., 2012). El aporte porcentual en abundancias para cada uno de los taxa/especies identificadas durante este estudio son presentados para cada Zona (**Tablas 26 a 30**) y período de muestreo (**Tablas 31 a 33**).

Las abundancias promedio de la macrofauna bentónica total fueron muy heterogéneas en los tres períodos de muestreo para todas las Zonas. La Zona 2 en general presentó las mayores abundancias promedio totales y la Zona 4 las menores. Temporalmente el muestreo de agosto de 2022 (tercera campaña) presentó en general casi un orden de magnitud mayor en las abundancias totales respecto a los dos primeros, dando cuenta de importantes cambios de esta variable entre los diferentes muestreos.

Para la riqueza de especies/taxa, la Zona 3 presentó en general lo mayores valores y el tercer muestreo de agosto 2022 tuvo los más altos valores para este indicador comunitario. En total para las tres campañas de muestreo se identificó 118 especies/taxa; la primera campaña tuvo 65 especies/taxa, la segunda campaña 66 especies/taxa y, la tercera campaña 86 especies/taxa. Respecto a los otros indicadores comunitarios de diversidad (Shannon-Wiener, Pielou y Simpson), ninguno presentó un patrón común espacial para las Zonas en estudio considerando las tres campañas de muestreo. Sólo el índice de Simpson presentó un gradiente descendiente desde la Zona 1 a la 4 en las dos últimas campañas.

Como es de esperar, desde un punto de vista multivariado, se observa que, para las tres campañas de muestreo, la Zona Biobio (estuarina) es disimilar respecto a las otras 4 Zonas (marinas), patrón observado, incorporando su disimilitud espacial, mediante los análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) (**Figuras 109, 110 y 111**). Este patrón es más evidente al observar los análisis métricos de escalamiento multidimensional (*mMDS*) (**Figuras 112, 113 y 114**). Ambos análisis permiten observar además que la Zona 4 presenta una mayor disimilitud comunitaria (*i.e.* presencia de especies y sus abundancias relativas) respecto de las Zonas 1, 2 y 3, las que presentan comunidades más similares en composición de especies y sus abundancias relativas.

Mediante los análisis PCO (que permiten visualizar la disimilitud entre réplicas para cada Zona y periodo de muestreo) es posible observar, además, en forma integrada que las campañas 1 y 2 presentaron comunidades más similares respecto a la campaña 3 (**Figura 115**) y que independiente de la campaña de muestreo, la Zona Biobío es la más disímil. Además, para las

Zonas marinas, la Zona 4 es la más disímil respecto a las Zonas 1, 2 y 3 (**Figura 116**). Ver además las **Figuras 117** (disimilitud temporal) y **118** (disimilitud espacial), las cuales permiten representar en forma integral las diferencias espaciales y temporales de la comunidad de la macrofauna bentónica cuando se incorpora en un mismo análisis toda la base de datos biológica. (Ver además **Tablas 26 a 33**).

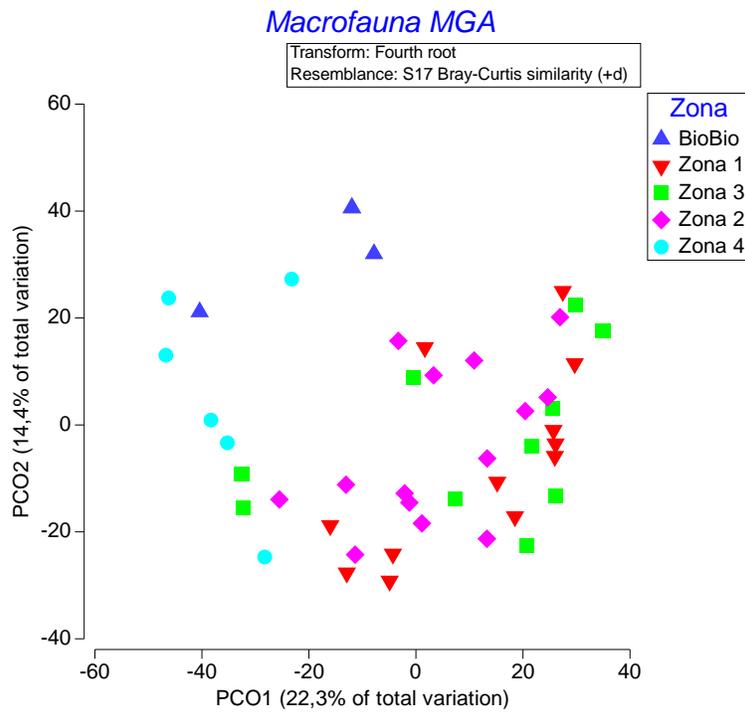


Figura 109. Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) para la campaña de octubre 2021.

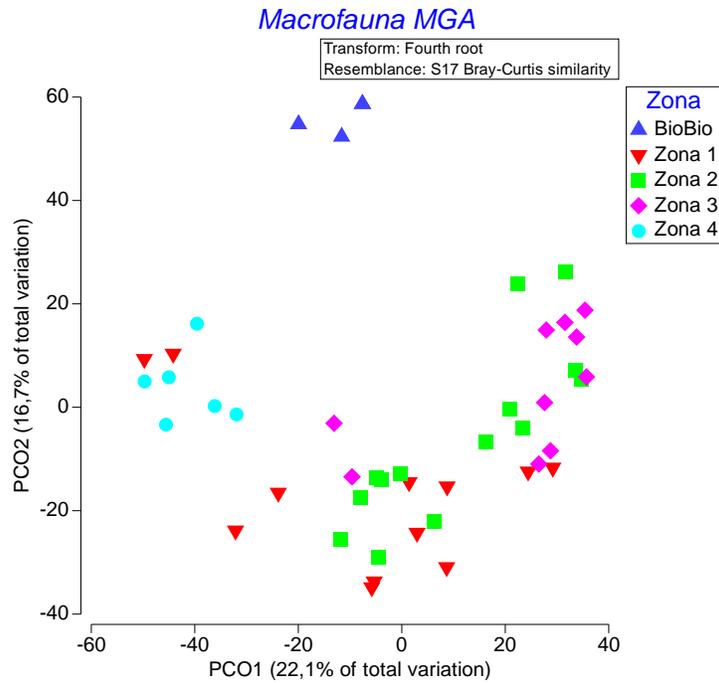


Figura 110. Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) para la campaña de enero 2022.

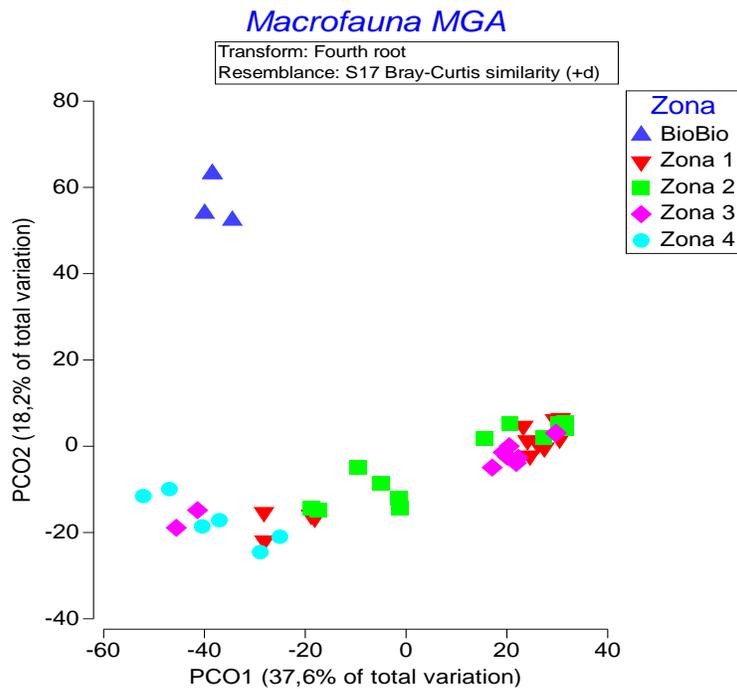


Figura 111. Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) para la campaña de agosto 2022.

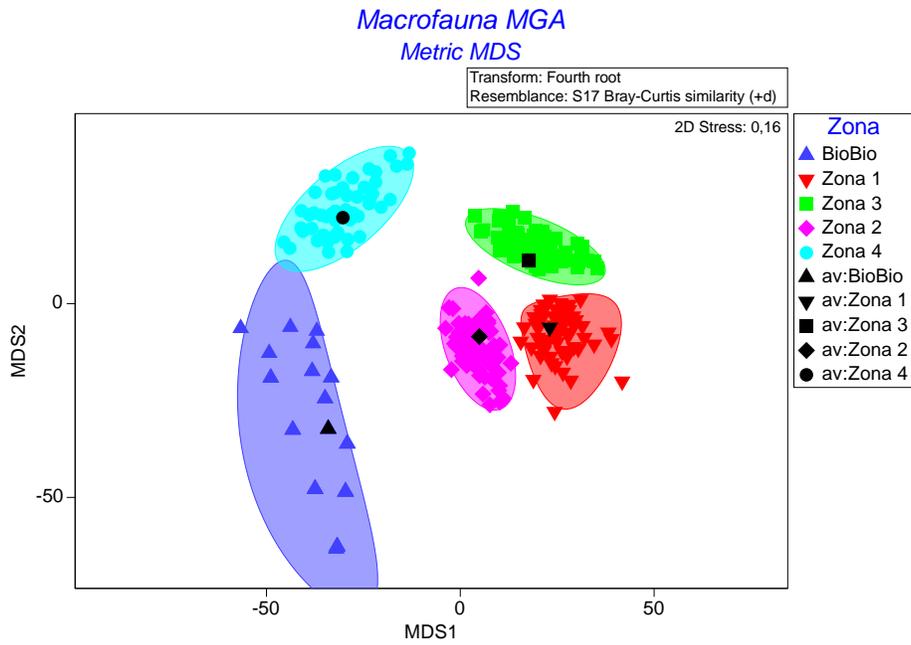


Figura 112. Análisis métrico de escalamiento multidimensionales *mMDS* para la campaña de octubre 2021.

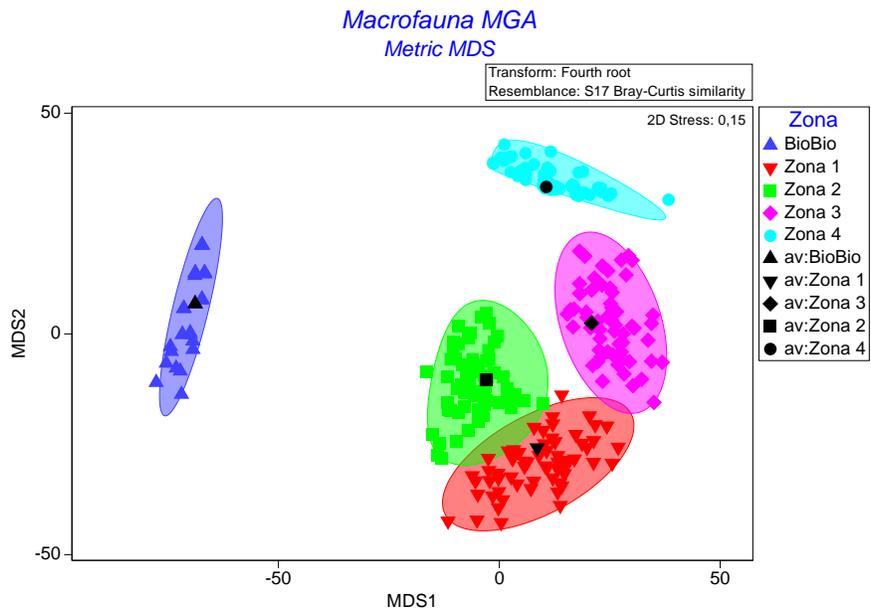


Figura 113. Análisis métrico de escalamiento multidimensionales *mMDS* para la campaña de enero 2022.

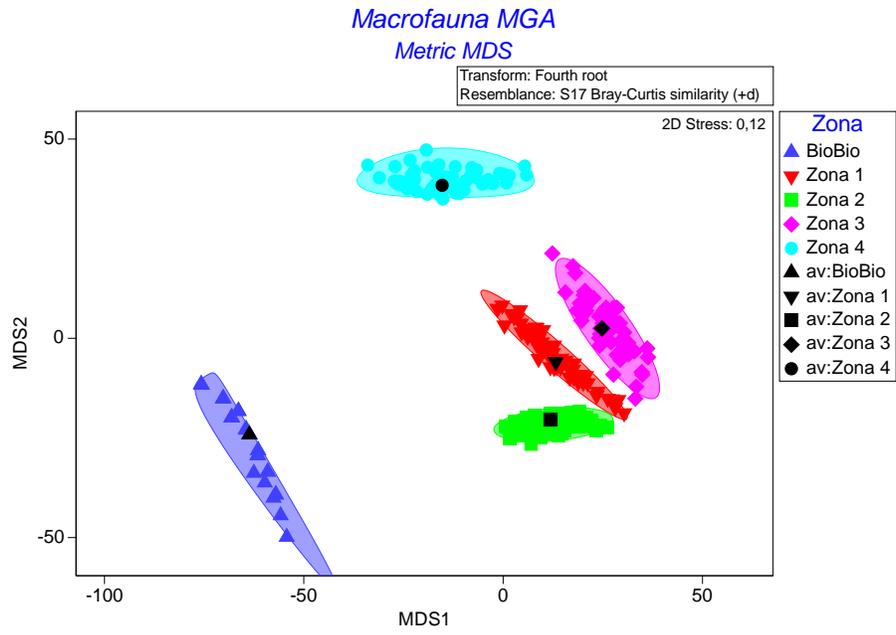


Figura 114. Análisis métrico de escalamiento multidimensional *mMDS* para la campaña de agosto 2022.

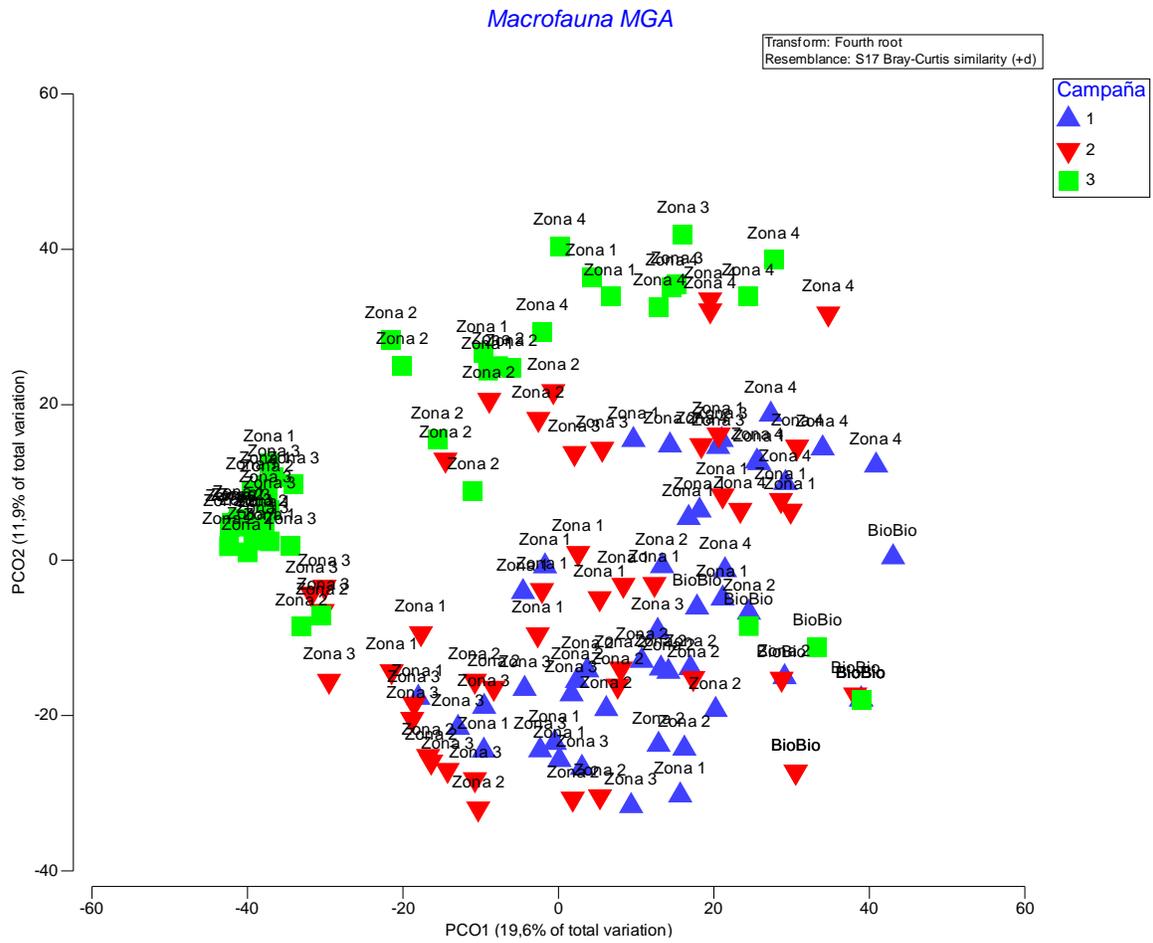


Figura 115. Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) incorporando las tres campañas de muestreo. Se destacan las campañas de muestreo.

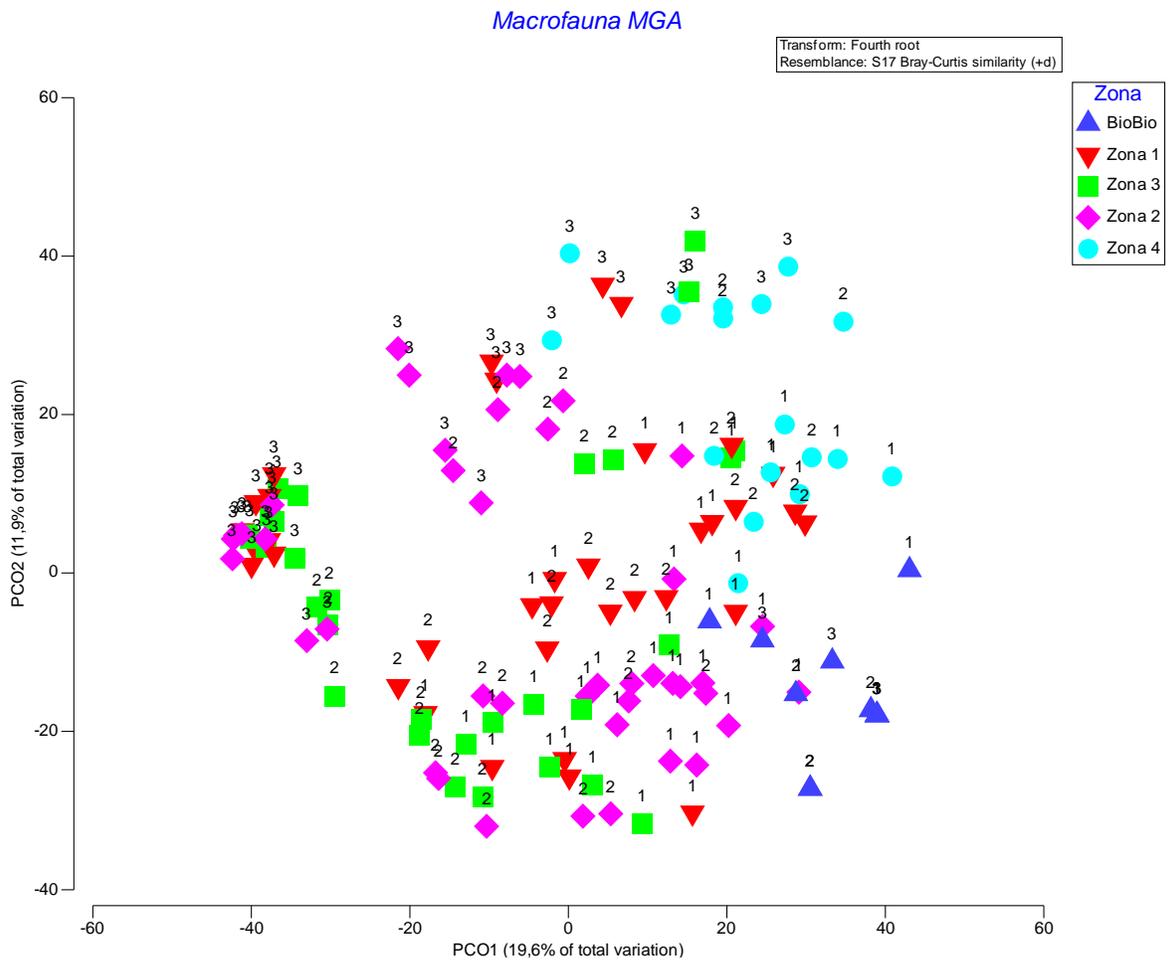


Figura 116. Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) incorporando las tres campañas de muestreo. Se destacan las Zonas de muestreo.

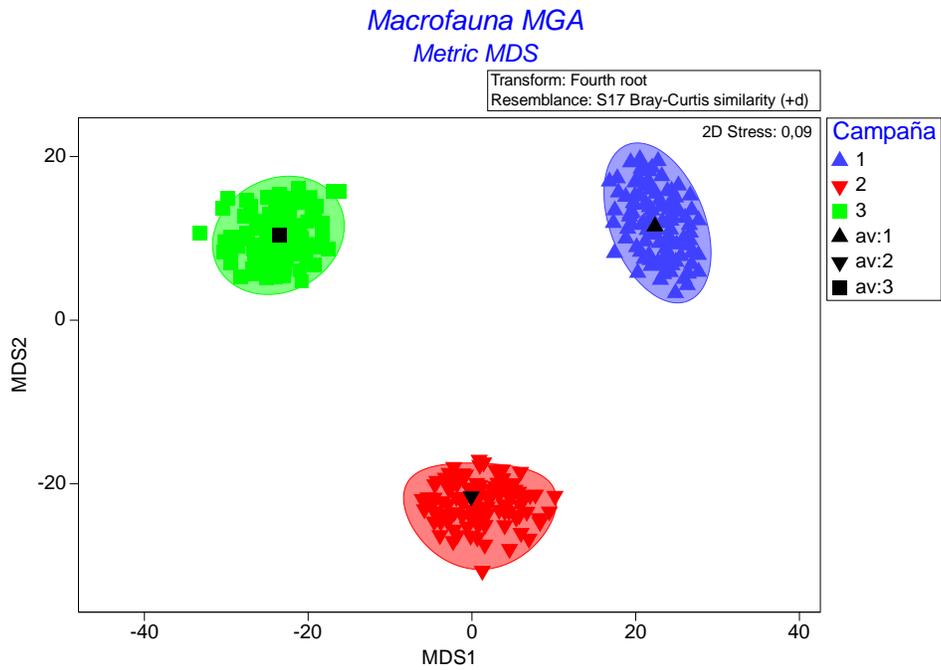


Figura 117. Análisis métricos de escalamiento multidimensionales *mMDS* incorporando las tres campañas de muestreo. Se destacan las campañas de muestreo.

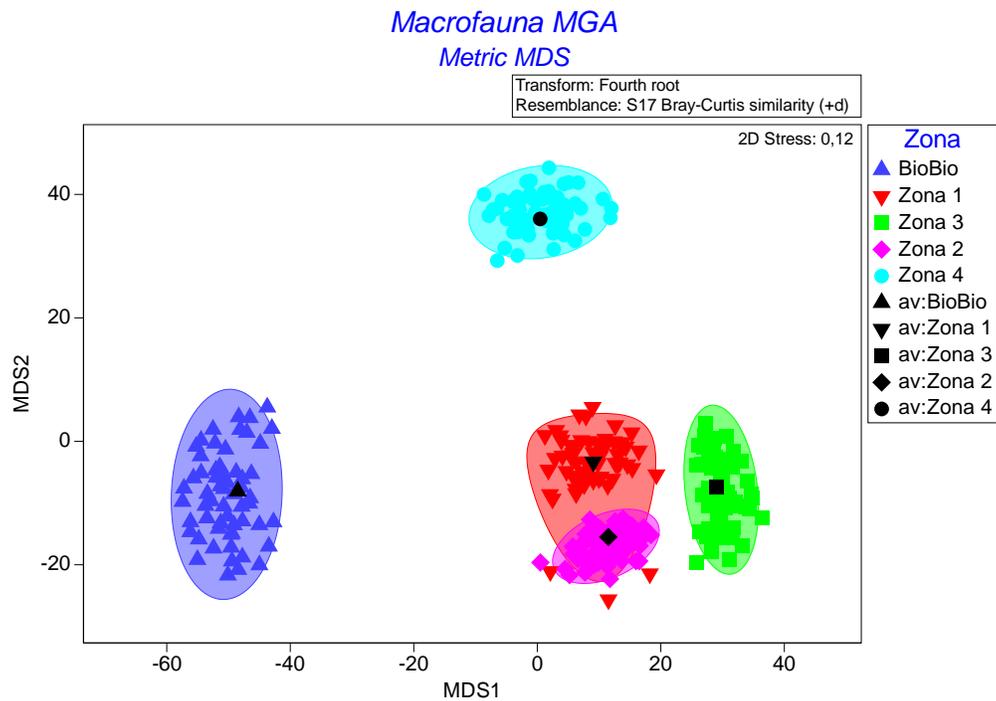


Figura 118. Análisis métricos de escalamiento multidimensionales *mMDS* incorporando las tres campañas de muestreo. Se destacan las Zonas de muestreo.

Tabla 26. Análisis SIMPER señalando las especies/taxa más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Zona Bio-Bio, considerando las tres campañas de muestreo.

Zona BioBio					
Similaridad promedio: 8,98					
Especies/taxa	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Isopoda sp3	0,43	5,79	0,33	64,47	64,47
<i>Nereis dorsolobata</i>	0,33	1,25	0,21	13,89	78,36
Isopoda sp5	0,23	0,75	0,13	8,41	86,76
<i>Magelona phyllisae</i>	0,17	0,57	0,13	6,39	93,15

Tabla 27. Análisis SIMPER señalando las especies/taxa más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Zona 1, considerando las tres campañas de muestreo.

Zona 1						
Similaridad promedio: 23,12						
Especies/taxa	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%	
<i>Ampelisca araucana</i>	1,43	3,26	0,71	14,12	14,12	
<i>Prionospio peruana</i>	1,84	3,06	0,77	13,23	27,35	
<i>Lumbrineris bifilaris</i>	1,10	1,90	0,63	8,21	35,56	
<i>Diopatra chilensis</i>	0,86	1,40	0,44	6,06	41,62	
<i>Magelona phyllisae</i>	1,15	1,24	0,53	5,36	46,98	
<i>Nereis dorsolobata</i>	0,81	1,18	0,49	5,09	52,07	
<i>Goniada uncinigera</i>	0,80	1,12	0,43	4,84	56,91	
<i>Paraprionospio pinnata</i>	1,33	1,00	0,39	4,34	61,25	
<i>Aricidea pigmentata</i>	1,26	0,82	0,41	3,54	64,78	
<i>Nassarius dentifer</i>	0,53	0,73	0,40	3,16	67,94	
<i>Glycera americana</i>	0,59	0,65	0,46	2,81	70,76	
<i>Pinnixa</i> sp.	0,57	0,63	0,25	2,74	73,50	
<i>Lumbrineris</i> Indet.	0,41	0,51	0,23	2,21	75,71	
Nemertea Indet.	0,51	0,51	0,38	2,19	77,89	
<i>Mediomastus branchiferus</i>	1,14	0,38	0,23	1,63	79,53	
<i>Nephtys ferruginea</i>	0,57	0,35	0,26	1,53	81,06	
<i>Eteone aestuarina</i>	0,51	0,34	0,30	1,46	82,52	
<i>Leitoscoloplos kerguelensis</i>	0,33	0,30	0,25	1,32	83,84	
<i>Nassarius gayi</i>	0,30	0,28	0,26	1,22	85,06	
<i>Spiophanes bombyx</i>	0,44	0,23	0,17	1,00	86,06	
<i>Pilargis berkeleyae</i>	0,26	0,23	0,22	0,99	87,05	
<i>Nephtys magellanica</i>	0,32	0,23	0,23	0,98	88,03	
<i>Owenia fusiformis</i>	0,37	0,21	0,17	0,92	88,94	
<i>Cossura chilensis</i>	0,57	0,20	0,21	0,85	89,79	
<i>Cancer</i> sp.	0,26	0,18	0,15	0,78	90,57	

Tabla 28. Análisis SIMPER señalando las especies/taxa más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Zona 2, considerando las tres campañas de muestreo.

Zona 2					
Similaridad promedio: 25,98					
Especies/taxa	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Lumbrineris bifilaris</i>	1,37	4,83	1,14	18,59	18,59
<i>Prionospio peruana</i>	1,56	2,90	0,72	11,16	29,74
<i>Nereis dorsolobata</i>	1,01	1,97	0,62	7,58	37,32
<i>Nassarius dentifer</i>	0,91	1,93	0,62	7,42	44,74
<i>Ampelisca araucana</i>	0,92	1,87	0,61	7,19	51,93
<i>Aricidea pigmentata</i>	1,64	1,74	0,57	6,69	58,62
<i>Paraprionospio pinnata</i>	1,26	1,58	0,45	6,10	64,72
<i>Owenia fusiformis</i>	1,27	0,94	0,27	3,62	68,34
<i>Diopatra chilensis</i>	0,53	0,66	0,31	2,55	70,89
<i>Glycera americana</i>	0,47	0,62	0,39	2,40	73,30
<i>Cancer sp.</i>	0,37	0,61	0,25	2,36	75,66
<i>Magelona phyllisae</i>	0,72	0,56	0,41	2,15	77,81
<i>Mulinia edulis</i>	0,40	0,49	0,27	1,90	79,70
<i>Mediomastus branchiferus</i>	1,11	0,43	0,27	1,67	81,38
<i>Pilargis berkeleyae</i>	0,39	0,43	0,30	1,66	83,04
<i>Leitoscoloplos kerguelensis</i>	0,57	0,43	0,39	1,64	84,68
<i>Goniada uncinigera</i>	0,63	0,40	0,28	1,56	86,24
<i>Eteone aestuarina</i>	0,45	0,30	0,30	1,16	87,40
<i>Nephtys ferruginea</i>	0,48	0,23	0,25	0,89	88,29
<i>Nemertea Indet.</i>	0,32	0,21	0,26	0,80	89,09
<i>Pycnogonida Indet.</i>	0,41	0,19	0,18	0,74	89,83
<i>Pinnixa bahamondei</i>	0,23	0,18	0,15	0,69	90,51

Tabla 29. Análisis SIMPER señalando las especies/taxa más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Zona 3, considerando las tres campañas de muestreo.

Zona 3					
Similaridad promedio: 33,83					
Especies/taxa	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Paraprionospio pinnata</i>	1,96	5,08	1,16	15,02	15,02
<i>Nereis dorsolobata</i>	1,69	3,93	1,24	11,60	26,63
<i>Prionospio peruana</i>	1,92	3,49	0,82	10,33	36,96
<i>Lumbrineris bifilaris</i>	1,27	2,96	1,08	8,75	45,71
<i>Magelona phyllisae</i>	1,73	2,73	0,89	8,07	53,78
<i>Nephtys ferruginea</i>	1,29	2,45	0,99	7,23	61,01
Nemertea Indet.	0,85	1,77	0,87	5,24	66,25
<i>Goniada uncinigera</i>	0,72	1,14	0,55	3,37	69,62
<i>Aricidea pigmentata</i>	1,33	1,07	0,47	3,15	72,77
<i>Ampelisca araucana</i>	0,93	0,91	0,48	2,70	75,47
<i>Mediomastus branchiferus</i>	1,18	0,82	0,40	2,43	77,90
<i>Glycera americana</i>	0,55	0,77	0,53	2,28	80,18
<i>Pilargis berkeleyae</i>	0,49	0,65	0,43	1,91	82,09
<i>Nassarius dentifer</i>	0,53	0,61	0,40	1,80	83,89
<i>Pectinaria chilensis</i>	0,42	0,52	0,35	1,53	85,42
<i>Typosyllis</i> sp.	0,49	0,36	0,37	1,06	86,48
<i>Mulinia edulis</i>	0,41	0,31	0,25	0,91	87,38
<i>Leitoscoloplos kerguelensis</i>	0,50	0,29	0,33	0,85	88,23
<i>Paradiopatra</i> sp.	0,35	0,29	0,22	0,84	89,08
<i>Spiophanes bombyx</i>	0,38	0,26	0,19	0,75	89,83
<i>Nucula pisum</i>	0,39	0,25	0,24	0,75	90,58

Tabla 30. Análisis SIMPER señalando las especies/taxa más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Zona 4, considerando las tres campañas de muestreo.

Zona 4					
Similaridad promedio: 30,06					
Especies/taxa	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Spiophanes bombyx</i>	1,80	7,43	1,14	24,72	24,72
Phoxocephalidae Indet.	1,34	4,11	0,79	13,68	38,40
Ostracoda Indet.	0,71	2,32	0,72	7,70	46,10
<i>Prionospio peruana</i>	0,87	1,90	0,62	6,33	52,44
<i>Nephtys magellanica</i>	0,75	1,84	0,63	6,13	58,56
<i>Eteone aestuarina</i>	0,74	1,54	0,53	5,12	63,68
<i>Pinnixa</i> sp.	0,78	1,27	0,46	4,23	67,90
Cumacea Indet	0,77	1,25	0,45	4,17	72,08
<i>Heterophoxus</i> sp.	0,63	1,13	0,32	3,76	75,84
<i>Lumbrineris bifilaris</i>	0,55	1,02	0,44	3,39	79,23
<i>Callianassa</i> sp	0,38	0,75	0,32	2,50	81,73
<i>Pseudocorystes sicarius</i>	0,46	0,71	0,32	2,35	84,08
<i>Goniada uncinigera</i>	0,44	0,69	0,39	2,29	86,36
<i>Cancer coronatus</i>	0,44	0,64	0,25	2,14	88,50
Nemertea Indet.	0,33	0,40	0,26	1,33	89,83
<i>Capitella c.f. capitata</i>	0,43	0,36	0,26	1,20	91,03

Tabla 31. Análisis SIMPER señalando las especies/taxa más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Campaña de primavera 2021, considerando todas las Zonas de muestreo.

Campaña de primavera 2021					
Similaridad promedio: 26,06					
Especies/taxa	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Lumbrineris bifilaris</i>	1,13	4,61	0,93	17,67	17,67
<i>Prionospio peruana</i>	1,19	4,26	0,71	16,33	34,00
<i>Cancer</i> sp.	0,84	2,67	0,68	10,24	44,24
<i>Nereis dorsolobata</i>	0,63	1,71	0,47	6,55	50,79
<i>Paraprionospio pinnata</i>	0,78	1,38	0,35	5,30	56,09
<i>Spiophanes bombyx</i>	0,71	1,32	0,34	5,08	61,17
<i>Heterophoxus</i> sp.	0,61	1,27	0,39	4,87	66,05
<i>Paradiopatra</i> sp.	0,62	1,26	0,41	4,83	70,87
<i>Ampelisca araucana</i>	0,64	1,15	0,40	4,43	75,30
<i>Nassarius dentifer</i>	0,48	0,83	0,34	3,19	78,49
Nemertea Indet.	0,45	0,79	0,38	3,04	81,53
<i>Mulinia edulis</i>	0,43	0,63	0,32	2,43	83,95
<i>Glycera americana</i>	0,37	0,56	0,33	2,16	86,12
<i>Pseudocorystes sicarius</i>	0,38	0,51	0,31	1,95	88,06
<i>Goniada uncinigera</i>	0,43	0,49	0,28	1,86	89,92
<i>Nephtys 148errugínea</i>	0,35	0,37	0,26	1,42	91,35

Tabla 32. Análisis SIMPER señalando las especies/taxa más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Campaña de verano 2022, considerando todas las Zonas de muestreo.

Campaña de verano 2022						
Similaridad promedio: 21,38						
Especies/taxa	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%	
<i>Ampelisca araucana</i>	1,16	2,34	0,53	10,93	10,93	
<i>Nereis dorsolobata</i>	0,90	2,32	0,59	10,86	21,79	
<i>Diopatra chilensis</i>	0,82	1,83	0,51	8,56	30,35	
<i>Lumbrineris bifilaris</i>	0,74	1,55	0,46	7,23	37,58	
<i>Magelona phyllisae</i>	0,80	1,15	0,44	5,37	42,95	
<i>Paraprionospio pinnata</i>	0,89	1,14	0,35	5,34	48,29	
<i>Nassarius dentifer</i>	0,53	0,97	0,42	4,54	52,83	
<i>Pinnixa bahamondei</i>	0,50	0,74	0,36	3,46	56,29	
<i>Aricidea pigmentata</i>	0,58	0,73	0,37	3,41	59,70	
<i>Goniada uncinigera</i>	0,52	0,71	0,34	3,31	63,02	
<i>Lumbrineris</i> Indet.	0,48	0,60	0,27	2,80	65,82	
<i>Nephtys magellanica</i>	0,41	0,60	0,35	2,80	68,61	
<i>Pilargis berkeleyae</i>	0,37	0,58	0,32	2,73	71,35	
<i>Gomezia serrata</i>	0,34	0,54	0,22	2,52	73,86	
Phoxocephalidae Indet.	0,41	0,53	0,22	2,49	76,36	
<i>Isolda viridis</i>	0,45	0,52	0,32	2,45	78,81	
<i>Pinnixa</i> sp.	0,42	0,50	0,20	2,34	81,15	
<i>Prionospio peruana</i>	0,47	0,48	0,27	2,25	83,39	
<i>Leitoscoloplos kerguelensis</i>	0,36	0,43	0,27	2,00	85,39	
Isopoda sp3	0,11	0,34	0,08	1,57	86,96	
<i>Nephtys ferruginea</i>	0,37	0,32	0,22	1,51	88,47	
<i>Cancer coronatus</i>	0,26	0,28	0,17	1,29	89,76	
<i>Nassarius gayi</i>	0,26	0,24	0,23	1,12	90,87	

Tabla 33. Análisis SIMPER señalando las especies/taxa más representativas (90 % de contribución acumulada) para la Campaña de invierno 2022, considerando todas las Zonas de muestreo.

Campaña de invierno 2022						
Similaridad promedio: 34,07						
Especies/taxa	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%	
<i>Prionospio peruana</i>	2,86	4,98	1,99	14,61	14,61	
<i>Aricidea pigmentata</i>	2,90	4,26	1,27	12,49	27,10	
<i>Mediomastus branchiferus</i>	2,60	2,60	0,78	7,62	34,72	
<i>Magelona phyllisae</i>	1,76	2,15	0,92	6,31	41,04	
<i>Lumbrineris bifilaris</i>	1,29	1,74	1,16	5,12	46,16	
<i>Eteone aestuarina</i>	1,06	1,70	0,81	4,99	51,15	
<i>Paraprionospio pinnata</i>	1,80	1,55	0,67	4,56	55,71	
<i>Nereis dorsolobata</i>	1,25	1,18	0,62	3,46	59,17	
<i>Nephtys ferruginea</i>	1,08	0,95	0,56	2,77	61,94	
Nemertea Indet.	0,74	0,86	0,67	2,53	64,47	
<i>Glycera americana</i>	0,73	0,83	0,72	2,44	66,91	
<i>Ampelisca araucana</i>	0,84	0,81	0,61	2,38	69,29	
<i>Goniada uncinigera</i>	0,89	0,80	0,47	2,36	71,65	
<i>Pinnixa</i> sp.	0,69	0,71	0,56	2,08	73,73	
<i>Leitoscoloplos kerguelensis</i>	0,77	0,68	0,59	2,00	75,73	
<i>Typosyllis</i> sp.	0,77	0,64	0,55	1,89	77,62	
<i>Nephtys magellanica</i>	0,56	0,61	0,39	1,80	79,42	
Phoxocephalidae Indet.	0,62	0,58	0,31	1,72	81,13	
<i>Cossura chilensis</i>	0,96	0,57	0,41	1,68	82,81	
<i>Nassarius dentifer</i>	0,60	0,40	0,39	1,17	83,98	
<i>Lumbrineris tetraura</i>	0,60	0,37	0,44	1,09	85,07	
<i>Spiophanes bombyx</i>	0,53	0,34	0,20	1,01	86,08	
<i>Sigambra bassi</i>	0,69	0,33	0,35	0,97	87,05	
<i>Isolda</i> sp.	0,55	0,31	0,41	0,92	87,97	
<i>Owenia fusiformis</i>	0,71	0,27	0,21	0,80	88,77	
Oligochaeta Indet.	0,57	0,27	0,31	0,79	89,55	
<i>Scoletepis</i> sp.	0,32	0,21	0,23	0,62	90,17	

4.2.2 Intermareal arenoso

4.2.2.1 Composición y riqueza de especies

En la campaña de octubre de 2021, se registró un total de cinco especies (**Tabla 34**), pertenecientes a cuatro familias. Entre las especies colectadas el decápodo *Emerita analoga* correspondió a la especie de mayor abundancia (**Tabla 34; Figura 119A**), seguida por los isópodos *Excirolana hirsuticauda* (21,8) y *Excirolana braziliensis* (2,6%) (**Tabla 34; Figura 119A**).

En el caso de la campaña de enero 2022 se registraron 6 taxones, pertenecientes a 5 familias (**Tabla 34**). La especie de mayor abundancia fue el isópodo *Excirolana hirsuticauda* (67,9%) seguida por el decápodo *Emerita analoga* (16,5%) (**Tabla 34; Figura 119B**). Para esta campaña, adicional a las especies de crustáceos colectados en la campaña de octubre, se registró la presencia de gusanos poliquetos pertenecientes a las familias Spionidae y Opheliidae (**Tabla 34, Figura 119B**). La presencia de los gusanos significó un aporte de un 1% en el caso de los Spionidos y de un 1,6% por parte de los Ophelidos.

Al igual que en la campaña de octubre 2021, en la campaña de julio 2022 se registraron cinco taxones pertenecientes a cuatro familias (**Tabla 34**). La especie de mayor abundancia fue el isópodo *Excirolana hirsuticauda* (72,2%), seguida por el decápodo *Emerita analoga* (18,4%) (**Tabla 34; Figura 119C**). En esta campaña, al igual que en la campaña de octubre 2021, se registró la presencia del coleóptero *Phalerisida maculata* en dos de las 4 zonas de estudio, zona 2 y zona 3, con un aporte a la abundancia total de 1,5% (**Tabla 34; Figura 119C**). En la campaña de octubre esta especie solo fue registrada en la zona 2 con un aporte total de un 0,1% (**Tabla 34**).

Tabla 34. Especies y abundancia total colectada en las diferentes zonas de estudio en la campaña de octubre 2021 (primavera), enero 2022 (verano) y julio 2022 (invierno). Entre paréntesis se indica el número de sitios de muestreo evaluados en cada zona.

Campaña Primavera 2021						
Familia	Especies	Zona 1 (5)	Zona 2 (7)	Zona 3 (4)	Zona 4 (3)	Total
Hippidae	<i>Emerita analoga</i>	345	983	327	147	1802
Cirolanidae	<i>Excirolana braziliensis</i>	0	22	24	19	65
Cirolanidae	<i>Excirolana hirsuticauda</i>	0	214	261	58	533
Talitridae	<i>Orchestoidea tuberculata</i>	5	6	17	16	44
Tenebrionidae	<i>Phalerisida maculata</i>	0	2	0	0	2
Spionidae	Spionidae	0	0	0	0	0
Opheliidea	Opheliidae	0	0	0	0	0
Total		350	1227	629	240	2446
Campaña Verano 2022						

Hippidae	<i>Emerita analoga</i>	21	97	21	21	160
Cirolanidae	<i>Exciorolana braziliensis</i>	0	18	55	11	84
Cirolanidae	<i>Exciorolana hirsuticauda</i>	0	265	354	40	659
Talitridae	<i>Orchestoidea tuberculata</i>	12	19	7	4	42
Tenebrionidae	<i>Phalerisida maculata</i>	0	0	0	0	0
Spionidae	Spionidae	0	1	9	0	10
Opheliidea	Opheliidae	0	3	17	0	20
Total		33	403	463	76	975
Campaña Invierno 2022						
Hippidae	<i>Emerita analoga</i>	0	92	13	26	131
Cirolanidae	<i>Exciorolana braziliensis</i>	0	3	9	13	25
Cirolanidae	<i>Exciorolana hirsuticauda</i>	0	230	207	76	513
Talitridae	<i>Orchestoidea tuberculata</i>	9	11	5	6	31
Tenebrionidae	<i>Phalerisida maculata</i>	0	4	7	0	11
Spionidae	Spionidae	0	0	0	0	0
Opheliidea	Opheliidae	0	0	0	0	0
Total		9	340	241	121	711

En términos del aporte relativo por especie a la abundancia entre las zonas de estudio, *Emerita analoga* correspondió a la especie de mayor presencia, siendo en la zona 1 responsable del 98,6% del total de animales registrados (**Figura 119D**). En esta zona, junto a *Emerita analoga*, se registró solo la presencia del anfípodo *Orchestoidea tuberculata* (**Figura 119D**). En la zona 2 *E. analoga* fue responsable del 80,1%, mientras que en la zona 3 del 51,9% y en la zona 4 de un 61,3% (**Figura 119D**). En cada una de estas zonas *Exciorolana hirsuticauda* fue la segunda especie de mayor abundancia (**Figura 119D**). En la zona 2 se registró la mayor riqueza total de especies, caracterizada por la presencia del coleóptero *Phalerisida maculata*, especie que no fue registrada en las otras zonas de estudio (**Tabla 34; Figura 119D**).

En la campaña de enero 2022, en las zonas 2 y 3, *Exciorolana hirsuticauda* fue la especie dominante (66% y 77%), sin embargo, la especie que le secundó en abundancia difirió entre las zonas (**Tabla 34, Figura 119E**). En la zona 2 fue *Emerita analoga* y en la zona 3 *Exciorolana braziliensis* (**Tabla 34, Figura 119E**). Solo en estas dos zonas se registró la presencia de gusanos poliquetos (**Tabla 34, Figura 119E**). En esta línea, en la zona 1 no se registró la presencia de isópodos cirolánidos, registrándose la presencia de *Emerita analoga* y el anfípodo *Orchestoidea tuberculata* (**Tabla 34, Figura 119E**).

En el caso de la campaña de julio 2022 se registró una presencia reducida de *Emerita analoga* en todas las zonas. En la zona 1 no fue registrado el decápodo, observándose solo la presencia del anfípodo *Orchestoidea tuberculata* (**Tabla 34, Figura 119F**). En las zonas 2, 3 y 4 la especie

dominante fue *Excirolana hirsuticauda*, destacándose en la zona 3 con un aporte de un 86% (Tabla 34, Figura 119F). En las zonas 2 y 4 el aporte de *Emerita analoga* fue similar con un 27% en la zona 2, y en la zona 4 un 21,5%. En el caso de la zona 3 la abundancia de *Emerita analoga* alcanzó un 5,4% (Tabla 34, Figura 119F). En el caso de *Excirolana braziliensis*, su mayor contribución relativa y absoluta fue observada en la zona 4 (Tabla 34; Figura 119F). No se registró su presencia en la zona 1 (Tabla 34; Figura 119F).

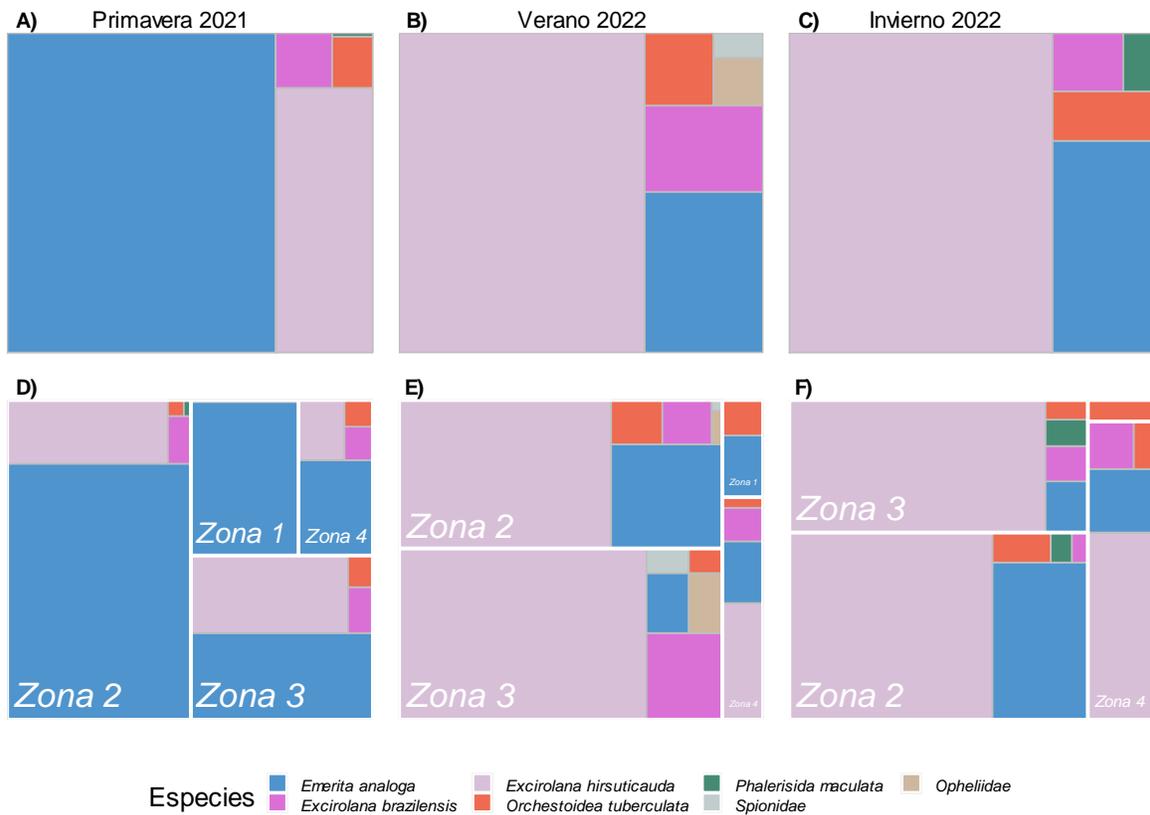


Figura 119. Abundancias relativas de las especies registradas considerando en forma agrupada todas las estaciones de muestreo dentro del Golfo de Arauco (A, B y C) y por zona (D, E y F), para las campañas de Primavera 2021 (octubre), Verano 2022 (enero) e Invierno 2022 (julio). La suma total de las áreas representa el 100 % de las abundancias de toda la macrofauna identificada en cada campaña. En la Figura F) la zona 1 corresponde al área roja ubicada en el extremo derecho superior.

4.2.2.2 Riqueza y abundancia de especies

Al contrastar los valores de riqueza promedio por zona, en la campaña de octubre 2021 el mayor valor se observó en las zonas 3 y 4 (Figura 120). En la campaña de enero 2022, la mayor riqueza

se registró en las zonas 3 (Figura 66), seguida por las zonas 2 y 4 (**Figura 120**). En la campaña de julio 2022, las zonas 2, 3 y 4 mostraron valores de riqueza de especies similares (**Figura 120**). Para todas las campañas la menor riqueza se registró en la zona 1 (**Figura 120**). En las campañas de octubre 2021 y enero 2022 se registró la presencia de *Emerita analoga* y *Orchestoidea tuberculata* en la zona 1, mientras que en la campaña de julio solo se registró la presencia de *Orchestoidea tuberculata* en esta zona (**Tabla 34**).

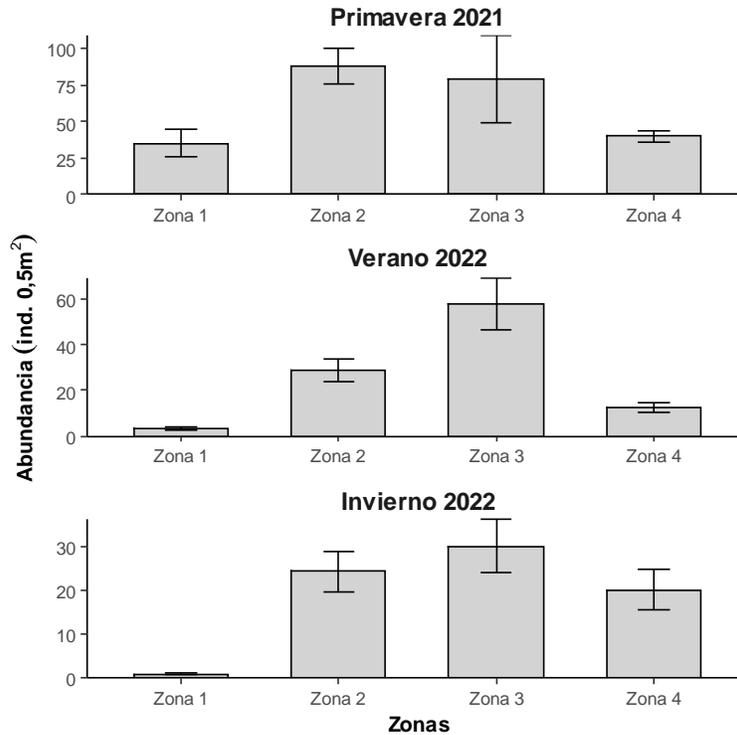


Figura 120. Riqueza de especies/taxa promedio de la macrofauna intermareal de playas de arena estimada en las campañas de primavera 2021 (octubre), verano 2022 (enero) e invierno 2022 (julio) por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a un error estándar.

En la campaña de octubre 2021, la mayor abundancia total de individuos se registró en la zona 2 (**Tabla 34**), seguida por la zona 3. La zona 4 fue la que reportó la menor abundancia (**Tabla 34**). En el caso de la campaña de enero 2022, la mayor abundancia de individuos se registró en la zona 3 (**Tabla 34**), seguida por la zona 2. La zona 1 fue la que reportó la menor abundancia total (**Tabla 34**). En la campaña de julio 2022 la mayor abundancia se registró en la zona 2, seguida por la zona 3 y 4 (**Tabla 34**). La menor abundancia se observó en la zona uno (**Tabla 34**).

Al evaluar la abundancia promedio por zona, el mayor registro en la campaña de octubre fue en la zona 2 ($86,6 \pm 44,1$ ind./ $0,5\text{m}^2$), seguido por la zona 3 ($78,6 \pm 59,4$ ind./ $0,5\text{m}^2$). En ambas zonas se registró una amplia variabilidad en la estimación del valor promedio, lo que sugiere importantes diferencias entre los sitios de muestreo (**Figura 121**). La zona 1 ($35 \pm 23,7$ ind./ $0,5\text{m}^2$) y zona 4 ($40 \pm 5,4$ ind./ $0,5\text{m}^2$) fueron las que mostraron las menores abundancias promedio, en ambos casos, alcanzando aproximadamente la mitad del registro estimado para las zonas 2 y 3 (**Figura 121**). Para estas zonas, además, la variabilidad entre los sitios de muestreo aparentemente fue inferior que la observada para las zonas 2 y 3 (**Figura 121**).

En la campaña de enero 2022 la mayor abundancia promedio se estimó en la zona 3 ($57,9 \pm 22,6$ ind./ $0,5\text{m}^2$), seguida por la zona 2 ($28,8 \pm 18,1$ ind./ $0,5\text{m}^2$) (**Figura 121**). La zona 1 fue la que registró la menor abundancia promedio con $3,3 \pm 1,4$ ind./ $0,5\text{m}^2$, mientras que la zona 4 reportó $12,7 \pm 3,0$ ind./ $0,5\text{m}^2$ (**Figura 121**). En general, si bien se observa diferencias en la magnitud de los valores promedio, entre ambas campañas se registra una congruencia en el patrón de distribución de la abundancia promedio dentro del golfo de Arauco.

En la campaña de julio 2022 la mayor abundancia promedio se estimó para la zona 3 ($30,1 \pm 6,1$ ind./ $0,5\text{m}^2$) (**Figura 121**), seguida por la zona 2 ($24,3 \pm 4,6$ ind./ $0,5\text{m}^2$) (**Figura 121**). En la zona 1 se observó la menor abundancia media con $0,9 \pm 0,2$ ind./ $0,5\text{m}^2$ (**Figura 121**). En la zona 4 la abundancia media fue de $20,2 \pm 4,5$ ind./ $0,5\text{m}^2$ (**Figura 121**).

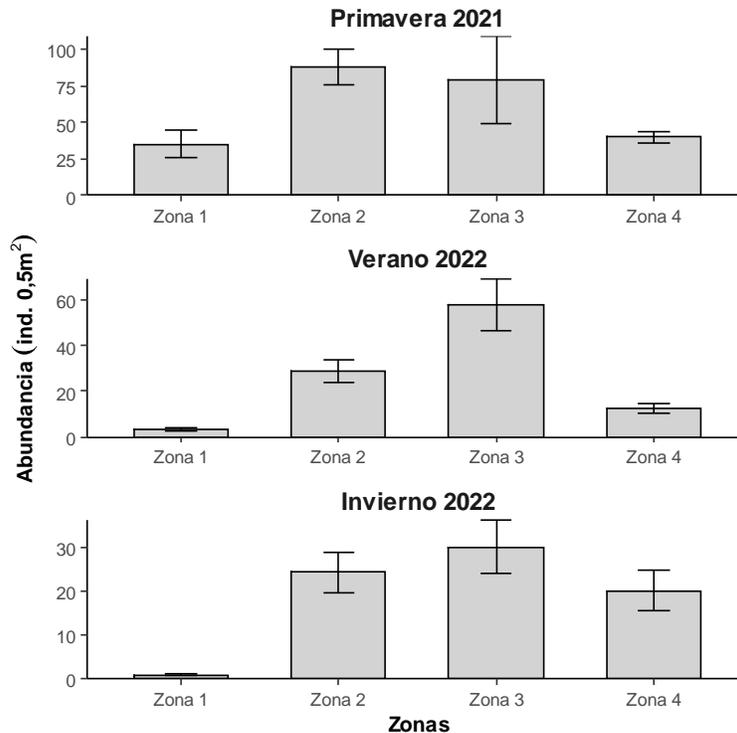


Figura 121. Abundancia promedio de la macrofauna intermareal de playas de arena estimada en las campañas de primavera 2021 (octubre), verano 2022 (enero) e invierno 2022 (julio) por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a un error estándar.

4.2.2.3 Índices de diversidad

El valor promedio más alto de diversidad de Shannon-Wiener en la campaña de octubre 2021 fue estimado en la zona 3 ($0,8 \pm 0,2$), seguido por el valor registrado para la zona 4 ($0,69 \pm 0,1$) (**Figura 122**). La menor diversidad promedio se estimó en la zona 1 ($0,06 \pm 0,07$) (**Figura 122**). En la campaña de enero 2022, la mayor diversidad de Shannon-Wiener fue estimada en la zona 3 ($0,87 \pm 0,21$), seguido por el valor estimado en la zona 4 ($0,82 \pm 0,1$) (**Figura 122**). En la zona 1 la diversidad estimada ($0,12 \pm 0,07$) fue la menor registrada en esta campaña, seguida por la zona 2 ($0,49 \pm 0,19$) (**Figura 122**). En la campaña de julio 2022, la mayor diversidad de Shannon-Wiener fue estimada en la zona 4 con $0,53 \pm 0,0$, seguido por la zona 3 con $0,41 \pm 0,0$) (**Figura 122**). En la zona 1 la diversidad estimada fue de 0, mientras que en la zona 2 fue de $0,35 \pm 0,0$ (**Figura 122**).

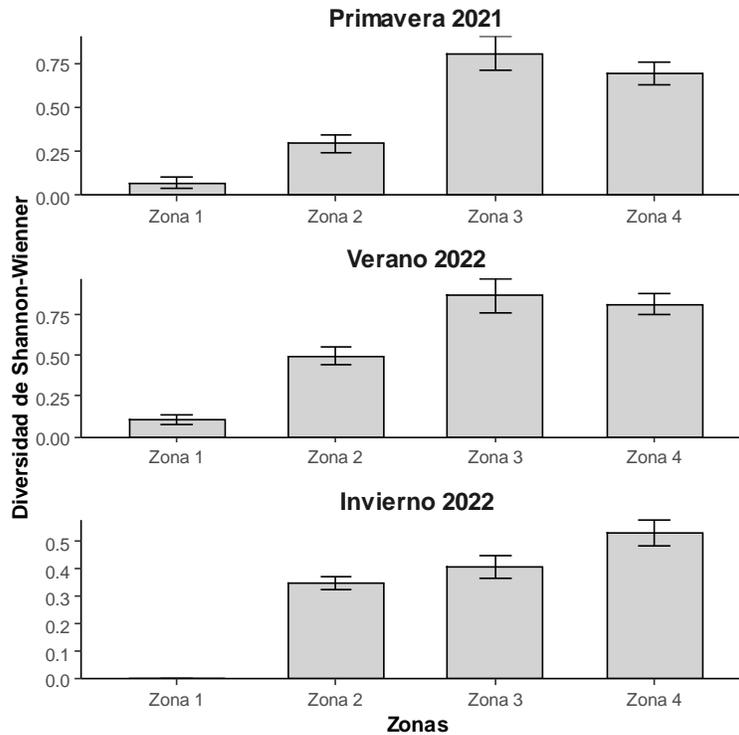


Figura 122. Diversidad de Shannon-Wiener (H') promedio de la macrofauna intermareal de playas de arena estimada en las campañas de primavera 2021 (octubre), verano 2022 (enero) e invierno 2022 (julio) por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a un error estándar.

Para el índice de uniformidad de Pielou (J'), el mayor registro fue observado en la zona 3 ($0,73 \pm 0,12$), seguida por la zona 4 ($0,60 \pm 0,06$) **Figura 123**. El menor valor fue registrado en la zona 1 ($0,1 \pm 0,11$) (**Figura 123**). En la campaña de enero 2022, la mayor uniformidad fue estimada en la zona 4 ($0,77 \pm 0,04$), seguido por el valor estimado en la zona 3 ($0,63 \pm 0,14$) (**Figura 123**). En la zona 1 la uniformidad estimada ($0,16 \pm 0,11$) fue la menor registrada en esta campaña, seguida por la zona 2 ($0,48 \pm 0,11$) (**Figura 123**). En la campaña de julio 2022, la mayor uniformidad fue estimada en la zona 4 con $0,57 \pm 0,0$, seguido por el valor estimado en la zona 3 con $0,46 \pm 0,1$) (**Figura 123**). En la zona 1 la uniformidad estimada fue de 0, mientras que en la zona 2 fue de $0,42 \pm 0,0$ (**Figura 123**).

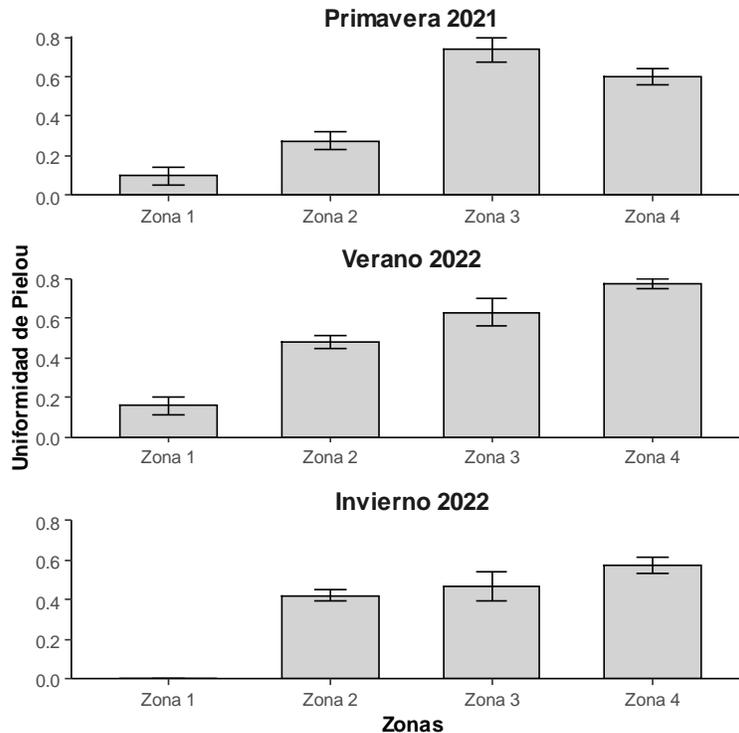


Figura 123. Equidad de Pielou (J') promedio de la macrofauna intermareal de playas de arena estimada en las campañas de primavera 2021 (octubre), verano 2022 (enero) e invierno 2022 (julio) por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a un error estándar.

La dominancia de Simpson (λ) para la campaña de octubre 2021 registró su valor mayor en la zona 3 ($0,47 \pm 0,12$) seguido por la zona 4 ($0,39 \pm 0,06$) (**Figura 124**). En el caso de las zonas 1 y 2, los valores de dominancia promedio mostraron una importante similitud ($0,25 \pm 0,21$ y $0,23 \pm 0,11$) (**Figura 124**). En la campaña de enero 2022, las zonas 3 y 4, y las zonas 1 y 2 mostraron una importante similitud en los registros promedio del índice de dominancia de Simpson. En la zona 3 el valor estimado fue de $0,46 \pm 0,12$ y en la zona 4 de $0,48 \pm 0,06$ (**Figura 124**). En zona 1 el valor estimado fue de $0,27 \pm 0,19$ y en la zona 2 de $0,28 \pm 0,1$) (**Figura 124**). En la campaña de julio 2022 el máximo valor se registró en la zona 1 con $0,5 \pm 0,1$, seguido por la zona 4 con $0,48 \pm 0,1$ (**Figura 124**). En el caso de las zonas 2 y 3, los valores de dominancia promedio fueron de $0,22 \pm 0,0$, y $0,36 \pm 0,0$ respectivamente (**Figura 124**).

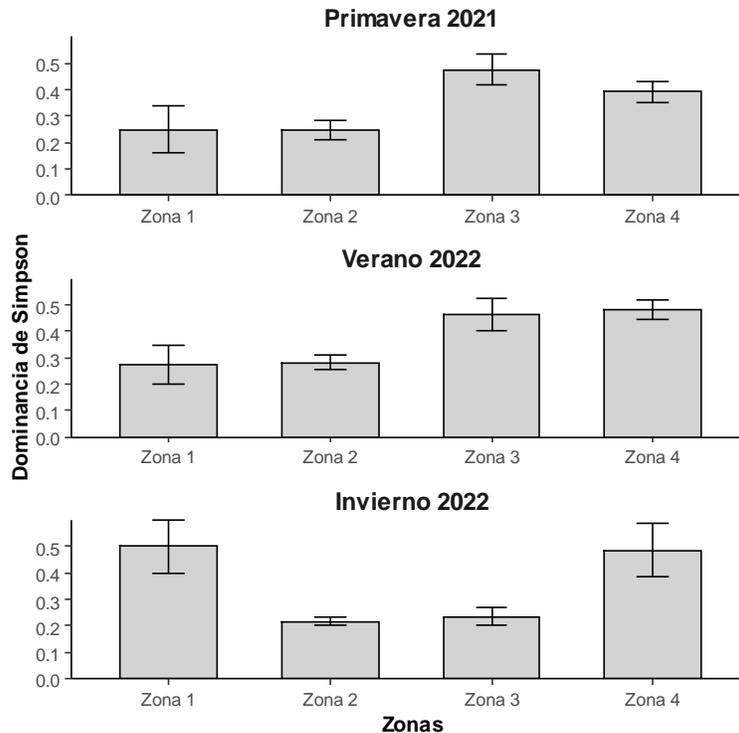


Figura 124. Dominancia de Simpson (λ) promedio de la macrofauna intermareal de playas de arena estimada en las campañas de primavera 2021 (octubre), verano 2022 (enero) e invierno 2022 (julio) por zona de muestreo dentro del Golfo de Arauco. Las barras de error corresponden a un error estándar.

4.2.2.4 Análisis integrado

En general, a la fecha, en el área de estudio se registró un total de 7 especies, dos isópodos *Excirolana braziliensis* y *Excirolana hirsuticauda*, un decápodo *Emerita analoga*, un anfípodo *Orchestoidea tuberculata* y un insecto coleóptero *Phalerisida maculata*. A estas especies se suman dos taxones de gusanos poliquetos, Spionidae y Opheliidae. Entre las campañas se observó diferencias en la presencia de estas especies, se destaca el registro de gusanos poliquetos solo en la campaña de verano 2022, mientras que en esta misma campaña no se observó la presencia de *Phalerisida maculata* (ver **Tabla 35**).

Adicionalmente en la **Tabla 35**, se observan diferencias en la composición de especies entre zonas y campañas. Los crustáceos fueron el taxa de mayor presencia a través de las zonas y campañas, representados por el decápodo *Emerita analoga*, los isópodos *Excirolana hirsuticauda* y *Excirolana braziliensis* y el anfípodo *Orchestoidea tuberculata*. En la zona 1 se registró la menor

riqueza de especies dada por un máximo de dos especies. En esta zona se observó la presencia del anfípodo *Orchestoidea tuberculata* en todas las campañas, mientras que el decápodo *Emerita analoga* solo se registró en las campañas de estivales. Las zonas 2 y 3 han sido las de mayor riqueza de especies, marcada en verano 2022 por la presencia de gusanos poliquetos y en invierno por el registro del coleóptero *P. maculata*. La zona 4 presentó una composición de especies similar a la registrada en las zonas 2 y 3, no obstante, solo con la presencia de crustáceos. En esta zona no se registró la presencia de poliquetos y coleópteros

Tabla 35. Composición de especies (ausencia – presencia) registrada en las diferentes zonas de estudio en las campañas de Primavera 2021, Verano 2022 e Invierno 2022. Los puntos indican el no registro de la especie en la zona.

Campaña Primavera 2021					
Familia	Especies	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Hippidae	<i>Emerita analoga</i>	√	√	√	√
Cirolanidae	<i>Excirrolana braziliensis</i>	.	√	√	√
Cirolanidae	<i>Excirrolana hirsuticauda</i>	.	√	√	√
Talitridae	<i>Orchestoidea tuberculata</i>	√	√	√	√
Tenebrionidae	<i>Phalerisida maculata</i>	.	√	.	.
Spionidae	<i>Spionidae</i>	.	.	.	.
Opheliidea	<i>Opheliidae</i>	.	.	.	.
Campaña Verano 2022					
Hippidae	<i>Emerita analoga</i>	√	√	√	√
Cirolanidae	<i>Excirrolana braziliensis</i>	.	√	√	√
Cirolanidae	<i>Excirrolana hirsuticauda</i>	.	√	√	√
Talitridae	<i>Orchestoidea tuberculata</i>	√	√	√	√
Tenebrionidae	<i>Phalerisida maculata</i>	.	.	.	.
Spionidae	<i>Spionidae</i>	.	√	√	.
Opheliidea	<i>Opheliidae</i>	.	√	√	.
Campaña Invierno 2022					
Hippidae	<i>Emerita analoga</i>	.	√	√	√
Cirolanidae	<i>Excirrolana braziliensis</i>	.	√	√	√
Cirolanidae	<i>Excirrolana hirsuticauda</i>	.	√	√	√
Talitridae	<i>Orchestoidea tuberculata</i>	√	√	√	√
Tenebrionidae	<i>Phalerisida maculata</i>	.	√	√	.
Spionidae	<i>Spionidae</i>	.	.	.	.
Opheliidea	<i>Opheliidae</i>	.	.	.	.

Al contrastar entre especies, los datos sugieren diferencias entre campañas marcada por la presencia dominante de *Emerita analoga* en primavera, seguida por *Excirolana hirsuticauda*, mientras que en las campañas de verano e invierno la especie dominante fue *Excirolana hirsuticauda* secundada por *Emerita analoga*. Una alta abundancia de *E. analoga* en primavera es coincidente con lo descrito en la literatura referido como una consecuencia de procesos de reclutamiento (McLachlan y Brown, 2010). Al respecto, si bien, no contamos con datos relativos a la distribución de tamaño corporal de los individuos, el aumento explosivo de individuos en sectores acotados de la costa es sugerente de la ocurrencia del fenómeno. En la literatura se sugiere que el fenómeno de reclutamiento ocurría en toda la época estival marcado por dos picos, uno en primavera y otro en verano, y que las menores abundancias están ligadas a los períodos invernales como consecuencias de un incremento en la mortalidad (Dexter, 1979; Jaramillo *et al.*, 1996, McLachlan y Brown, 2010). Los datos colectados en las campañas realizadas a la fecha muestran que la campaña de verano presentaría una mayor similitud en su estructura de abundancia con una campaña de invierno que primavera. Sí este fenómeno corresponde a un rasgo característico del Golfo de Arauco condicionado por las corrientes y su influencia sobre el transporte larval, o es un artefacto del muestreo debe ser evaluado.

Al distinguir entre zonas de evaluación, los resultados antes descritos son consistentes. En general, las especies *Emerita analoga* y *Excirolana hirsuticauda* corresponden a las dos especies principales en las cuatro áreas en las diferentes campañas realizadas. Entre estas especies, en la zona 2 se destaca la presencia de *Emerita analoga* en la campaña de primavera, donde se ha registrado la mayor abundancia de individuos totales y para la especie. La excepción a la dominancia de *E. analoga* y *E. hirsuticauda* dentro de las zonas la constituye la zona 1 en las campañas de campaña de verano e invierno. En verano, no se registró la presencia de *Excirolana hirsuticauda*, siendo *Emerita analoga* junto a *Orchestoidea tuberculata* las únicas especies presentes, en invierno en la zona 1 solo se registró la presencia de *Orchestoidea tuberculata*.

Las menores riquezas promedio se registraron en la zona 1 en todas las campañas, donde solo se ha registrado la presencia absoluta de dos especies, *Emerita analoga* y *Orchestoidea tuberculata*. Entre las tres zonas restantes los valores de riqueza son similares, observándose una tendencia a valores mayores en la zona 3, seguida por la zona 4.

Al contrastar los valores de abundancia promedio estimados por zona, las menores abundancias se registraron en la zona 1 en todas las campañas. Las mayores abundancias se han alternado

entre las zonas 2 y 3, ubicadas en la parte central del Golfo de Arauco. En la campaña de verano la mayor abundancia se registró en la zona 2, mientras que en la campaña de verano e invierno en la zona 3.

En relación con los índices de diversidad evaluados, en general los valores estimados dentro de las zonas y campañas son reducidos, consecuencia del bajo número de especies registradas que habitan la zona intermareal de playas de arena. Para el índice de Shannon-Wiener, en las zonas 3 y 4 se registró los valores más altos en todas las campañas. La menor diversidad se estimó en la zona 1 y valores intermedios en la zona 2 en todas las campañas. En el caso del índice de equitatividad, los resultados son similares a los descritos para la diversidad. Los valores más altos se han observado en la zona 3 y 4, particularmente en las campañas de octubre 2021 y enero 2022, mientras que en la campaña de invierno la equitatividad fue similar entre las zonas 2 a 4. La menor equitatividad se registró en la zona 1 en todas las campañas. Finalmente, en relación con el índice de dominancia de Simpson, los valores estimados en todas las campañas mostraron una variabilidad menor entre las zonas que la observada para los otros dos índices. Los valores de dominancia observados en las zonas 3 y 4, ubicadas en el sector centro sur del Golfo de Arauco, presentaron valores de dominancia similares, fenómeno que se repitió entre las zonas 1 y 2 en las campañas de primavera y verano. Los valores registrados en las zonas 3 y 4 fueron superiores a los registrados en las zonas 1 y 2. En el caso de la campaña de invierno, las mayores dominancias se observaron en los sitios 1 y 4, cuyas magnitudes estimadas fueron similares. Este último resultado también fue observado entre las zonas 2 y 3.

En general los resultados sugieren variaciones temporales asociadas a las zonas de estudio, el Análisis de Componentes Principales muestra variaciones en los ensambles de especies en cada sitio de estudio asociado a la presencia de especies, particularmente de *Emerita analoga* y *Excirolana hirsuticauda* (**Figura 125**). Gran parte de la variación entre los sitios de estudio está asociada a la presencia de *Excirolana hirsuticauda*, eje 1 (51,8%). Así mismo se distingue una relación entre la distribución de los datos observados en la campaña de primavera 2021 con la presencia de *Emerita analoga*, eje 2 (32,2%). En esta línea se realizó un análisis de permutaciones de varianza, y posteriormente se evaluó posibles variaciones temporales dentro de cada zona en su ensamble. Los resultados de análisis se muestran en la **Tabla 36**, se observa una interacción significativa entre campañas y zonas de estudio, sugiriendo que las variaciones temporales observadas en el ensamble estarían ligadas a las zonas en evaluación. Sobre este resultado se destaca la zona 2, área donde se registró diferencias significativas entre la campaña

de primavera 2021 y las campañas de verano 2022 e invierno 2022. Para el resto de las zonas no se distinguieron variaciones temporales significativas en su ensamble, resultado es consistente con lo observado para la ocurrencia de un potencial episodio de reclutamiento, fenómeno que ocurre con particular intensidad en la zona 2.

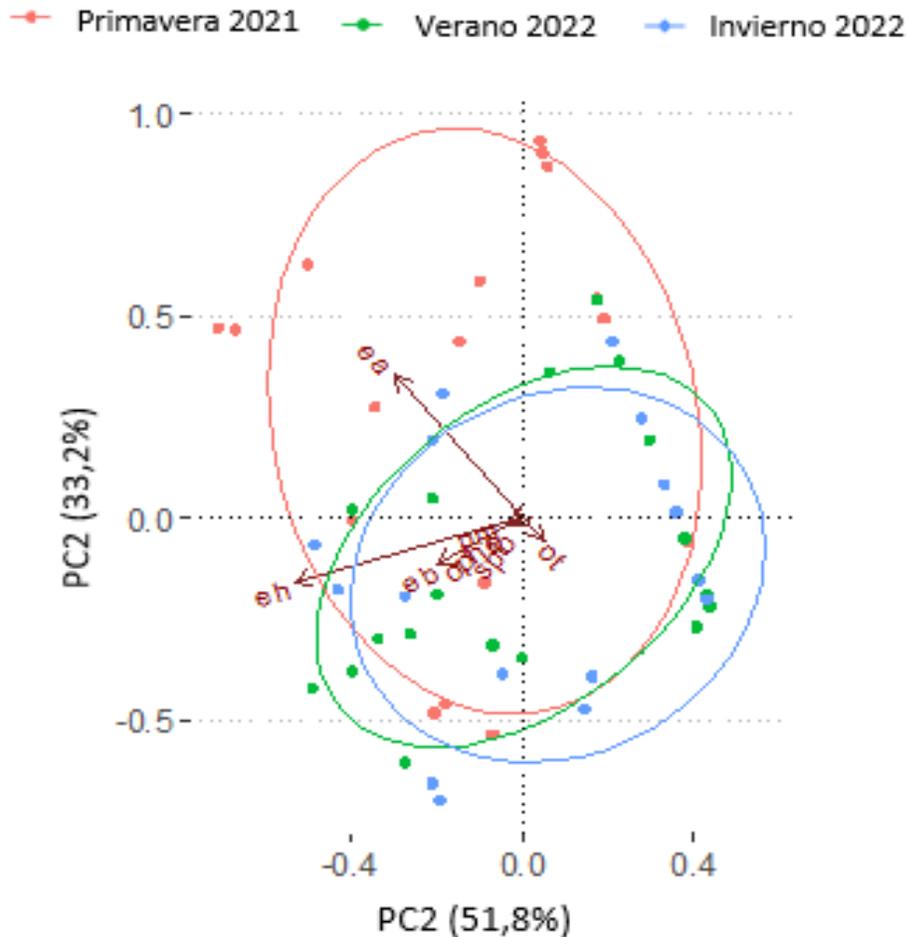


Figura 125. Análisis de componentes principales para el ensamble de especies intermareales que habitan la zona intermareal del Golfo de Arauco. Previo al análisis los datos fueron transformados mediante a transformación de hellinger, la que corrige la no linealidad de la distribución de las variables de abundancia. Para la figura. ea: *Emerita analoga*, eh: *Excirolana hirsuticauda*, eb: *Excirolana braziliensis*, ot: *Orchestoidea tuberculata*, spio: *Spionidae*; pm: *P. maculata*, y op: *Ophelidae*.

Tabla 36. Resultados para la prueba de permutaciones de varianza para la interacción entre Zonas y Campañas realizadas. Se muestran también los resultados para las pruebas pareadas a posteriori para los contrastes entre campañas dentro de zonas.

	Factor	gl	Suma de cuadrados	R ²	F	p
	Campaña * Zonas	11	1.723	0.562	5.2487	0.001*
	Error	45	1.343	0.438		
<i>Comparaciones pareadas a posteriori</i>						
Zona	Comparaciones entre campañas	gl	Suma de cuadrados	F	p	
Zona 1	Primavera 2021 – Verano 2022	1	0.265	1.664	0.38	
	Primavera 2021- Invierno 2022	1	0.341	2.543	0.30	
	Verano 2022 – Invierno 2022	1	0.080	2.327	0.14	
Zona 2	Primavera 2021 – Verano 2022	1	0.545	2.668	0.04*	
	Primavera 2021- Invierno 2022	1	0.625	3.205	0.02*	
	Verano 2022 - Invierno 2022	1	0.021	0.099	0.97	
zona 3	Primavera 2021 – Verano 2022	1	0.121	0.629	0.55	
	Primavera 2021- Invierno 2022	1	0.096	0.460	0.94	
	Verano 2022 – Invierno 2022	1	0.159	1.041	0.39	
zona 4	Primavera 2021 – Verano 2022	1	0.288	3.371	0.2	
	Primavera 2021- Invierno 2022	1	0.180	1.085	0.4	
	Verano 2022 – Invierno 2022	1	0.039	0.343	1	

4.2.3 Intermareal rocoso

Las comunidades de fondos duros son analizadas de forma independiente para aquellas especies factibles de contabilizar en terreno (medidas en densidad) y para aquellas especies cuyas altas densidades no permitieron el recuento de individuos en terreno. Dentro del primer grupo están antozoos, bivalvos, crustáceos, equinodermos, gastrópodos y poliplacóforos, mientras que en el segundo grupo están aquellas especies de animales presentes en agrupaciones muy copiosas (e.g. *Perumytilus* y Balánidos), además de las macroalgas. En el caso de estas últimas especies, se estimó como medida de densidad, la cobertura en porcentaje dentro de cada uno de los cuadrantes evaluados.

4.2.3.1 Campaña octubre 2021

El análisis de la composición por grupo de especies para la campaña de octubre de 2021 reveló que en el intermareal rocoso los grupos de mayor importancia corresponden a gastrópodos (**Figura 126a**) y algas rojas (**Figura 126b**).

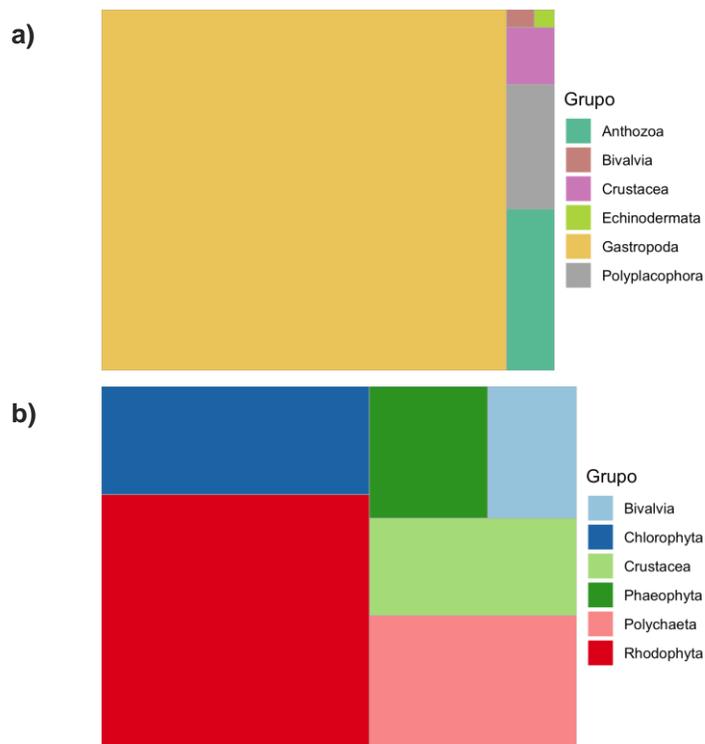


Figura 126. Abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos detectados para comunidades de fondos duros medidas en abundancia (a) y en cobertura (b) para ambientes de fondos duros en Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el en cada caso el 100 % de las abundancias y coberturas identificadas en la Campaña octubre 2021.

El análisis por zona de muestreo reveló un incremento de la representatividad de gastrópodos hacia la zona 4, donde se observaron las mayores abundancias totales, coincidiendo con una disminución en la presencia de antozoos (**Figura 127a**). Las zonas 2 y 3 muestran una menor densidad de gastrópodos, y una mayor presencia de antozoos y chitones (poliplacóforos). En cuanto a las especies sésiles, las algas rojas predominan en las 3 zonas evaluadas, con importantes aportes de algas verdes en las zonas 2 y 4, destacando la presencia de algas café en la zona 2 y la aparición de poliquetos en la zona 4 (**Figura 127b**).

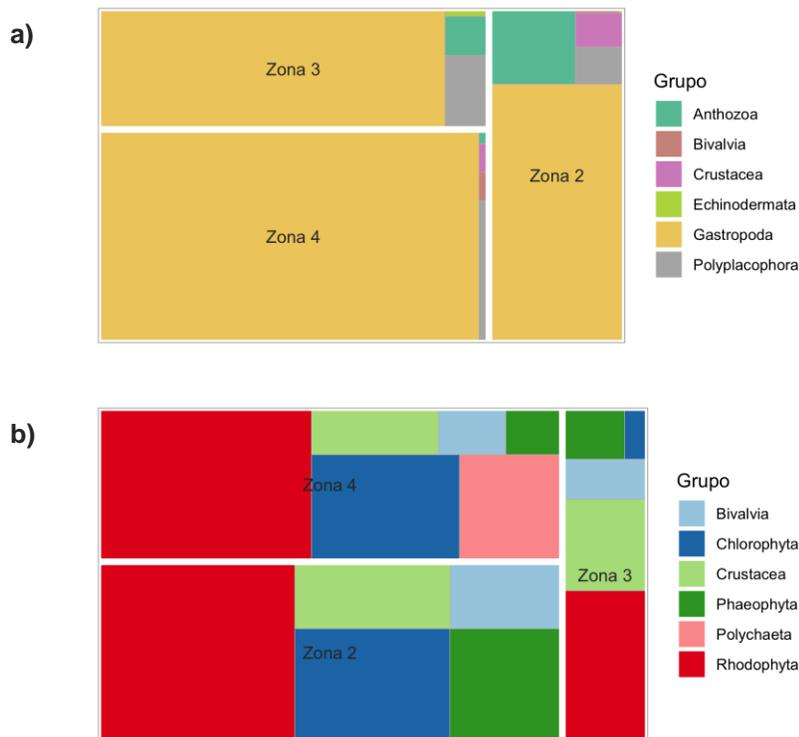


Figura 126. Abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos detectados para comunidades de fondos duros medidas en abundancia (a) y en cobertura (b) para ambientes de fondos duros en Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el en cada caso el 100 % de las abundancias y coberturas identificadas en la Campaña octubre 2021.

El análisis de índices comunitarios para especies medidas en densidad (**Figura 128**) revela que las menores abundancias y riquezas de especies se observaron en la zona 2, mientras que las abundancias y riquezas más altas se observaron en la zona 3. Los índices de diversidad de Shannon y de dominancia de Simpson mostraron niveles parcialmente más altos en la zona 3,

mientras que la equidad de Pielou mostró niveles más altos en la zona 2. En todos los casos los índices de diversidad mostraron valores más bajos en la zona 4.

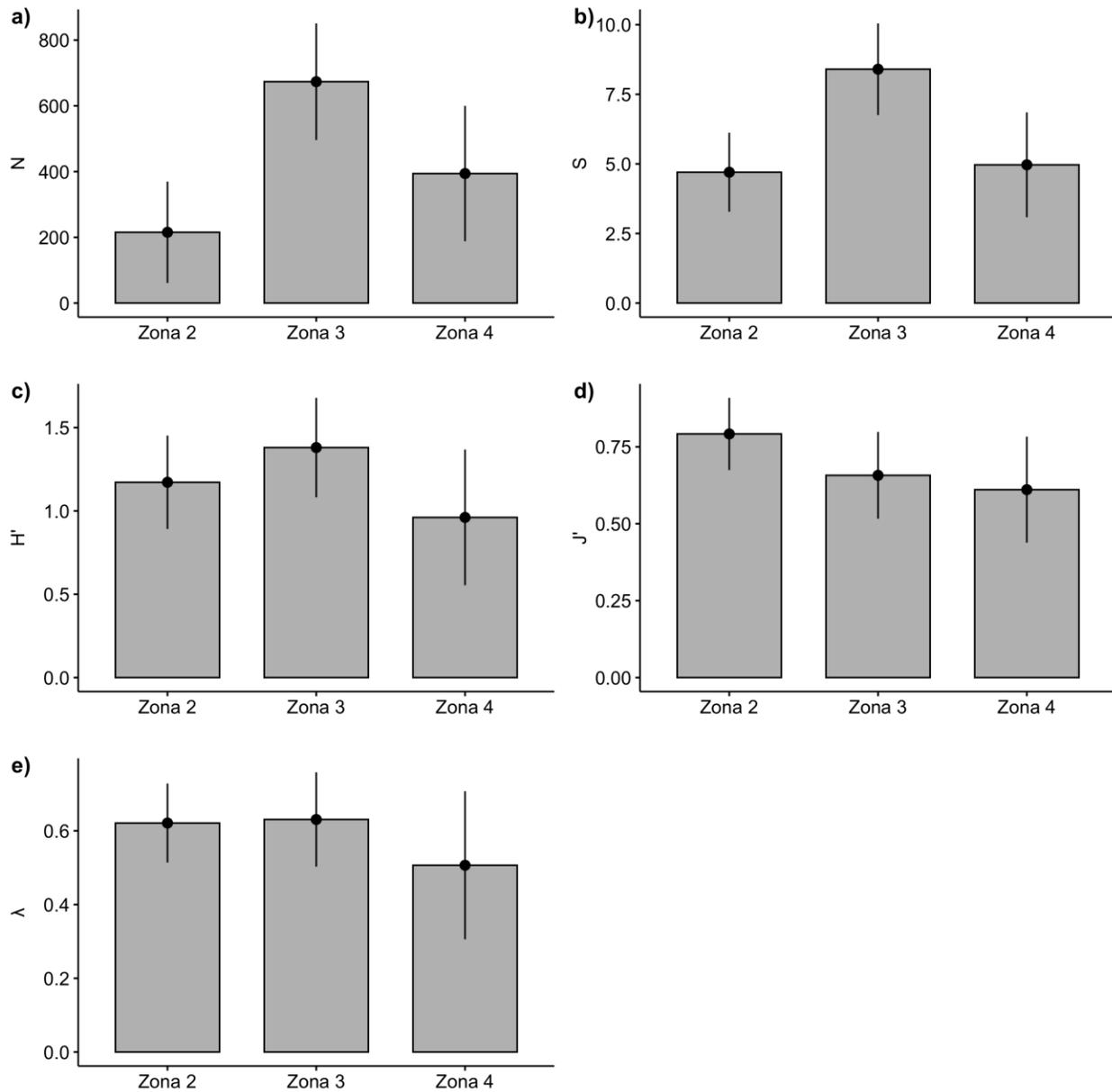


Figura 128. Índices comunitarios promedio por zona para comunidades de fondos duros medidas en abundancia. Campaña octubre 2021. N: abundancia; S: riqueza de especie; H': diversidad de Shannon-Wiener; J': uniformidad de Pielou; λ: dominancia de Simpson.

El análisis de índices comunitarios para especies medidas en cobertura (**Figura 129**) permite observar una menor diferenciación entre zonas que la observada en el caso de las especies

medidas en densidad (**Figura 128**), observándose no obstante menores abundancias y riquezas de especies en la zona 4. Los índices de diversidad de Shannon y de dominancia de Simpson mostraron niveles más bajos en la zona 4, mientras que la equidad de Pielou mostró una muy baja diferenciación entre zonas.

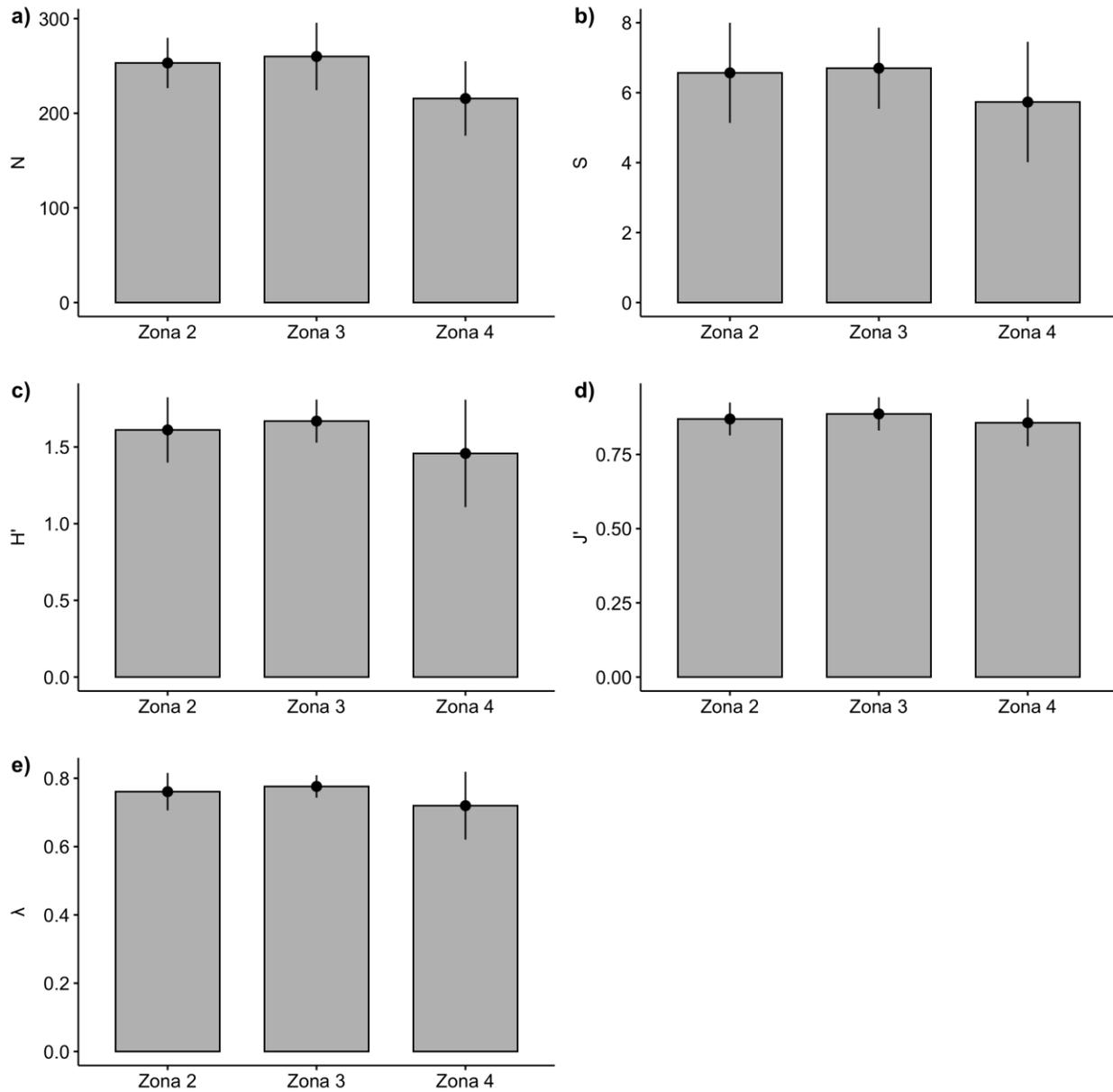


Figura 129. Índices comunitarios promedio por zona para comunidades de fondos duros medidas en cobertura. Campaña octubre 2021. N: abundancia; S: riqueza de especie; H': diversidad de Shannon-Wiener; J': uniformidad de Pielou; λ: dominancia de Simpson.

4.2.3.2 Campaña enero 2022

Durante enero de 2022 el intermareal rocoso mostró predominancia de gastrópodos (**Figura 130a**) y algas rojas (**Figura 130b**), destacando como grupos secundarios antozoos y polioplacóforos en el caso de las especies contabilizables y las coberturas de crustáceos (balánidos), algas verdes y algas pardas en el caso de las especies sésiles.

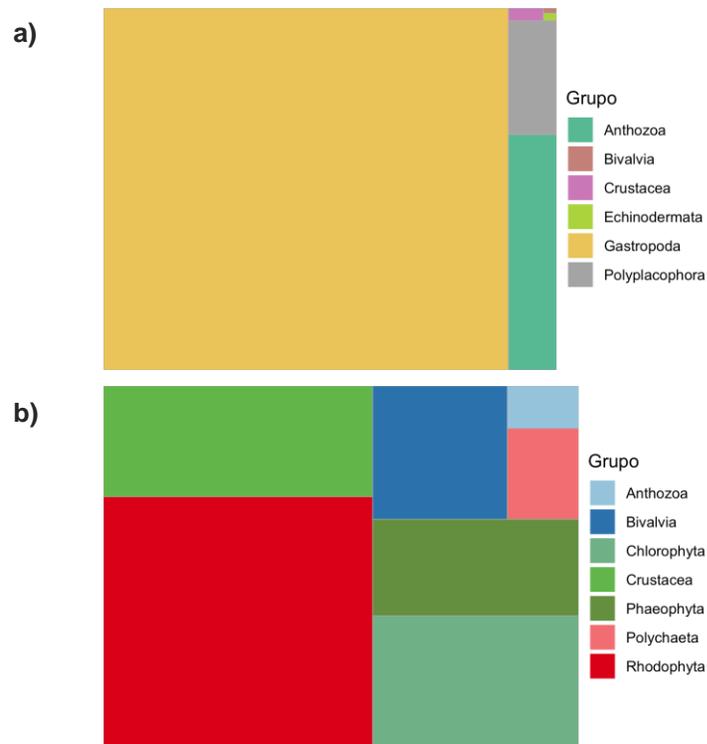


Figura 130. Abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos detectados para comunidades de fondos duros medidas en abundancia (a) y en cobertura (b) para ambientes de fondos duros en Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el en cada caso el 100 % de las abundancias y coberturas identificadas en la Campaña enero 2022.

El análisis por zona de muestreo reveló, al igual que en la campaña de octubre de 2021, un incremento de la representatividad de gastrópodos hacia la zona 4, donde se observaron las mayores abundancias totales, coincidiendo con una disminución en la presencia de antozoos (**Figura 131a**). Las zonas 2 y 3 muestran menores densidades de gastrópodos, y una mayor presencia de antozoos y chitones (polioplacóforos). En cuanto a las especies sésiles, las algas rojas predominan en las 3 zonas evaluadas, con importantes aportes de algas verdes, crustáceos y bivalvos en las 3 zonas evaluadas, incrementándose la presencia de algas pardas en las zonas 2 y 4, además de la presencia de poliquetos en la zona 4 (**Figura 131b**).

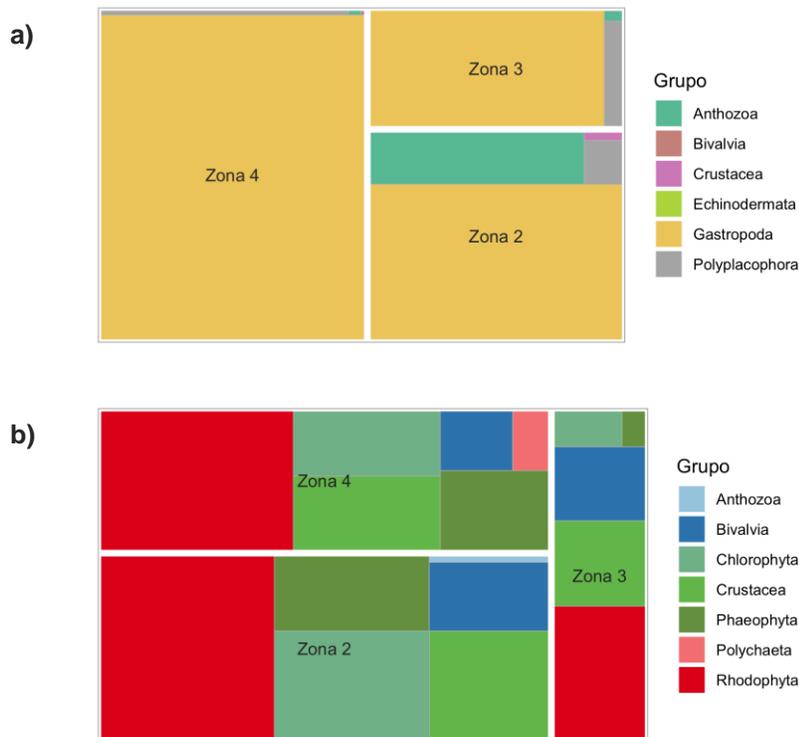


Figura 131. Abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos detectados para comunidades de fondos duros medidas en abundancia (a) y en cobertura (b) para ambientes de fondos duros en Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el en cada caso el 100 % de las abundancias y coberturas identificadas en la Campaña enero 2022.

El análisis de índices comunitarios para especies medidas en densidad (**Figura 132**) revela que las menores abundancias se observaron en la zona 2, mientras que las abundancias y riquezas y diversidades más altas se observaron en la zona 3. Los índices de diversidad de Shannon, Equidad de Pielou y de dominancia de Simpson mostraron niveles parcialmente más altos en la zona 3. Similar a lo observado en la campaña de octubre 2021, los índices de riqueza y diversidad mostraron valores más bajos en la zona 4.

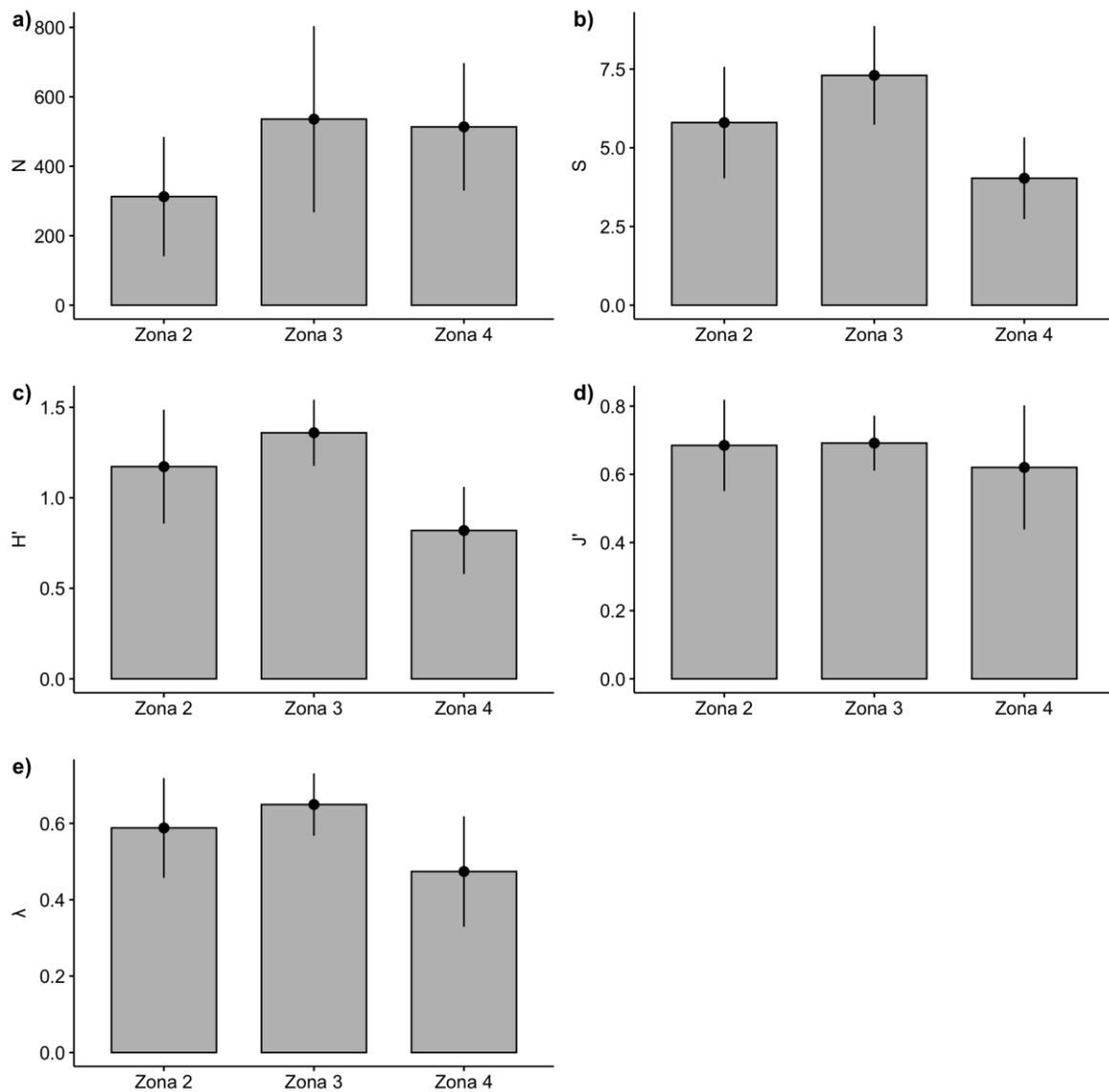


Figura 132. Índices comunitarios promedio por zona para comunidades de fondos duros medidas en abundancia. Campaña enero 2022. N: abundancia; S: riqueza de especie; H': diversidad de Shannon-Wiener; J': uniformidad de Pielou; λ : dominancia de Simpson.

El análisis de índices comunitarios para especies medidas en cobertura (**Figura 133**) permite observar una menor diferenciación entre zonas que la observada en el caso de las especies medidas en densidad (**Figura 133**), observándose no obstante menores abundancias y riquezas y diversidad de especies en la zona 4. Los índices de Equidad de Pielou y de dominancia de Simpson mostraron una muy baja diferenciación, con niveles parcialmente más bajo en la zona 4.

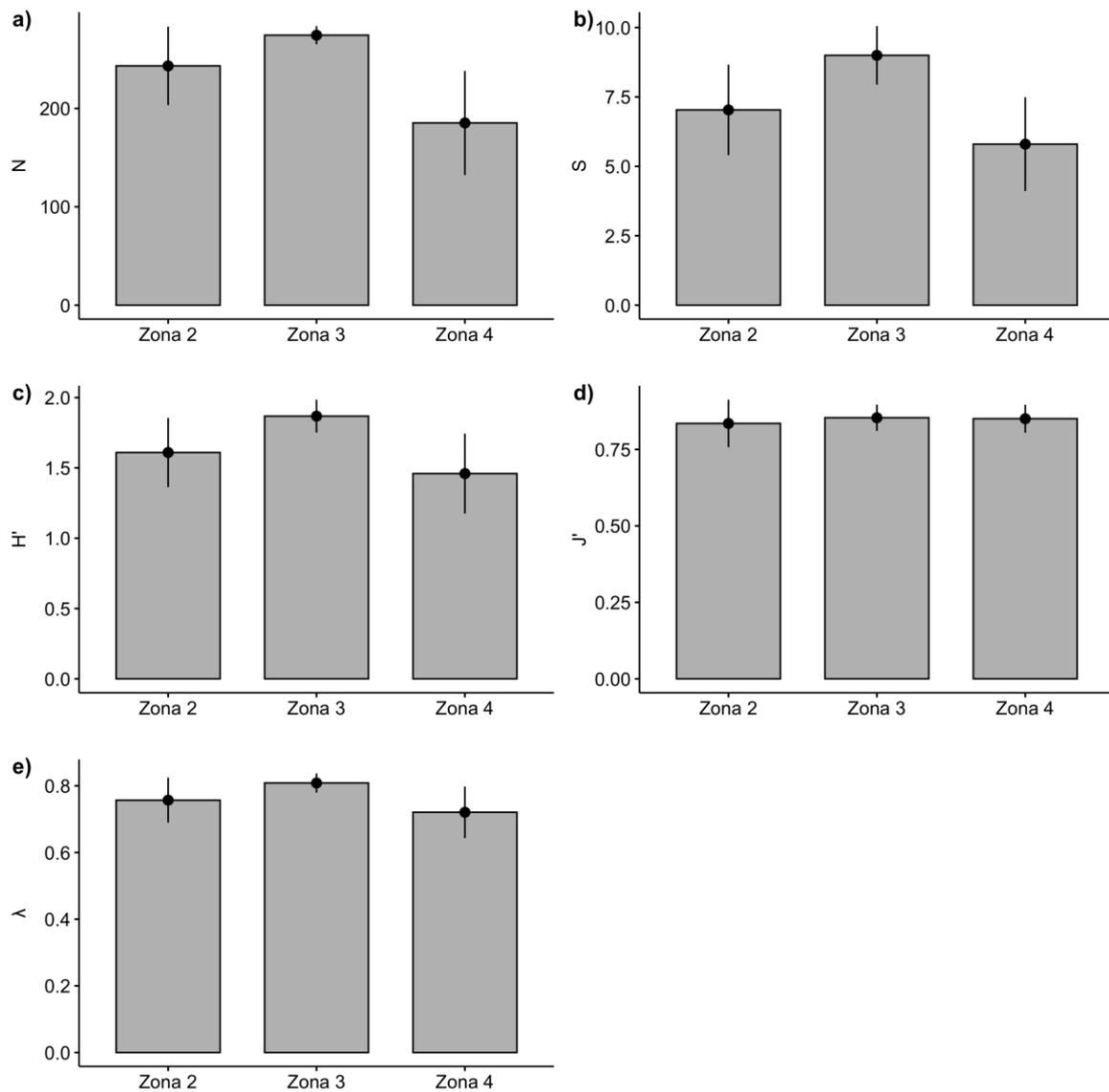


Figura 133. Índices comunitarios promedio por zona para comunidades de fondos duros medidas en cobertura. Campaña enero 2022. N : abundancia; S : riqueza de especie; H' : diversidad de Shannon-Wiener; J' : uniformidad de Pielou; λ : dominancia de Simpson.

4.2.3.3 Campaña agosto 2022

Durante agosto de 2022 el intermareal rocoso mostró alta predominancia de gastrópodos (**Figura 134a**) y algas rojas, crustáceos (balánidos) y bivalvos (**Figura 134b**), destacando como grupos secundarios los poliplacóforos en el caso de las especies contabilizables y las coberturas de crustáceos (balánidos), algas verdes y algas pardas en el caso de las especies sésiles.

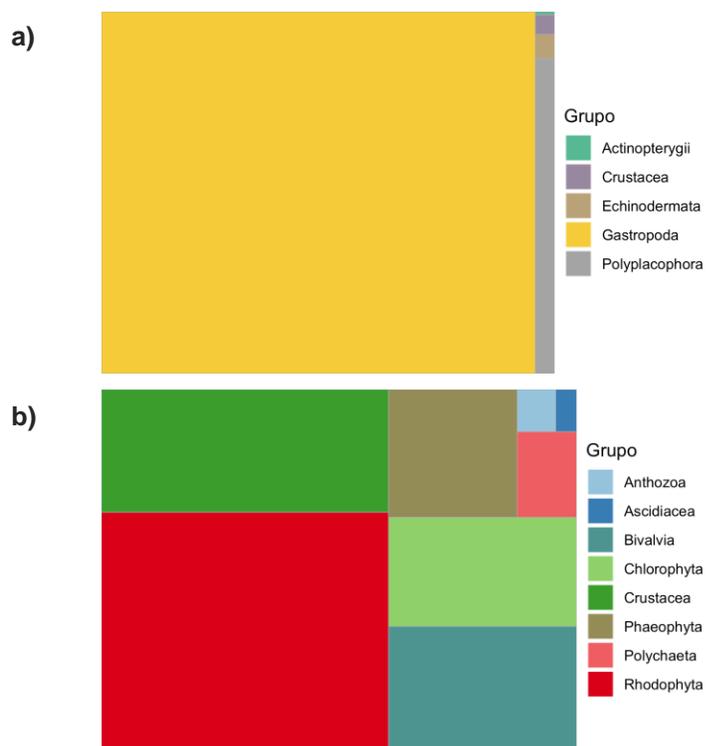


Figura 134. Abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos detectados para comunidades de fondos duros medidas en abundancia (a) y en cobertura (b) para ambientes de fondos duros en Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el en cada caso el 100 % de las abundancias y coberturas identificadas en la Campaña agosto 2022.

El análisis por zona de muestreo reveló, al igual que en las campañas precedentes, un incremento de la representatividad de gastrópodos hacia la zona 4, donde se observaron las mayores abundancias totales, coincidiendo con una disminución en la presencia de polioplacóforos (**Figura 135a**). Las zonas 2 y 3 muestran menores densidades de gastrópodos, y una mayor presencia de polioplacóforos, destacando en la zona la presencia de crustáceos y equinodermos. En cuanto a las especies sésiles, las algas rojas predominan en las 3 zonas evaluadas, con importantes aportes de algas verdes, algas pardas y crustáceos y bivalvos en todas las zonas, destacando en la zona 4 la presencia de poliquetos (**Figura 135b**).

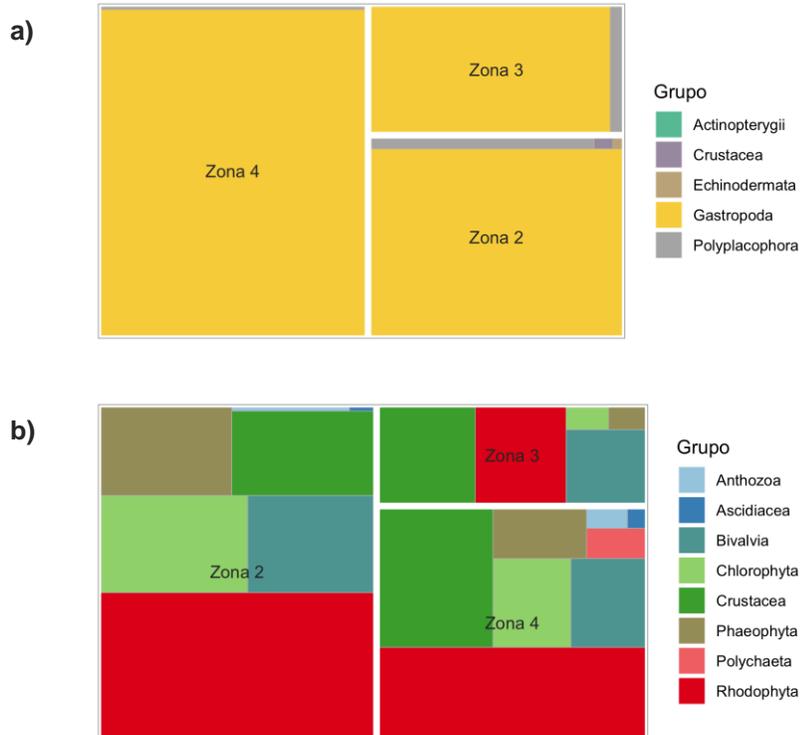


Figura 135. Abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos detectados para comunidades de fondos duros medidas en abundancia (a) y en cobertura (b) para ambientes de fondos duros en Golfo de Arauco. El total de las áreas de colores representan el en cada caso el 100 % de las abundancias y coberturas identificadas en la Campaña agosto 2022.

El análisis de índices comunitarios para especies medidas en densidad (**Figura 136**) revela que las menores abundancias se observaron en la zona 2, mientras que las abundancias y riquezas y diversidades más altas se observaron en la zona 3. Los índices de diversidad de Shannon, Equidad de Pielou y de dominancia de Simpson mostraron niveles parcialmente más altos en la zona 3, mientras que la menor riqueza de especies se observó en la zona 4.

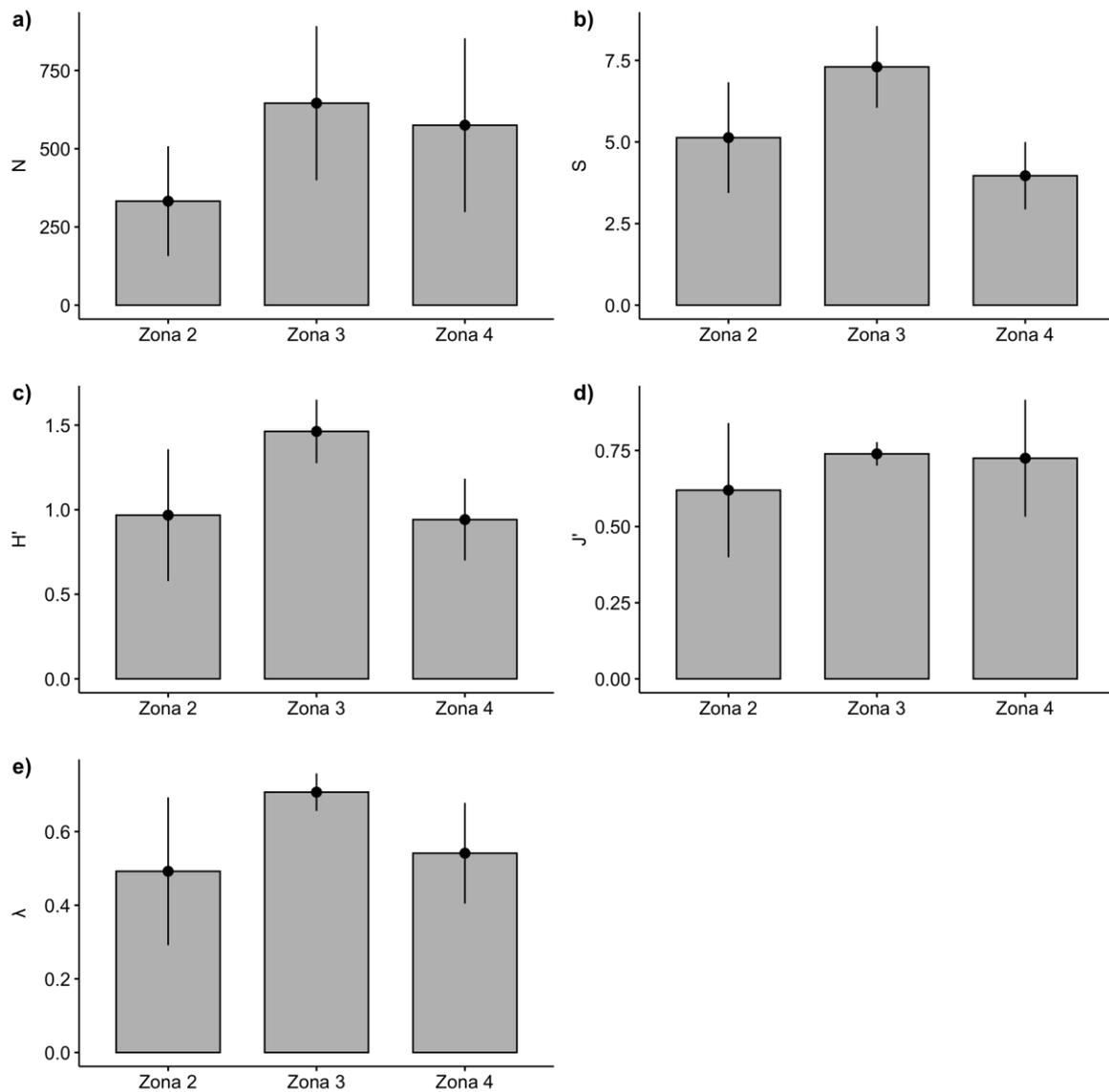


Figura 136. Índices comunitarios promedio por zona para comunidades de fondos duros medidas en abundancia. Campaña enero 2022. N : abundancia; S : riqueza de especie; H' : diversidad de Shannon-Wiener; J' : uniformidad de Pielou; λ : dominancia de Simpson.

El análisis de índices comunitarios para especies medidas en cobertura (**Figura 137**) revela menor diferenciación entre zonas que la observada en el caso de las especies medidas en densidad (**Figura 137**). No obstante, en general se observan mayores coberturas promedio en la zona 1 y menores coberturas promedio en la zona 4. Los índices de Equidad de Pielou y de dominancia de Simpson mostraron una muy baja diferenciación, con niveles promedio muy similares para las 3 zonas.

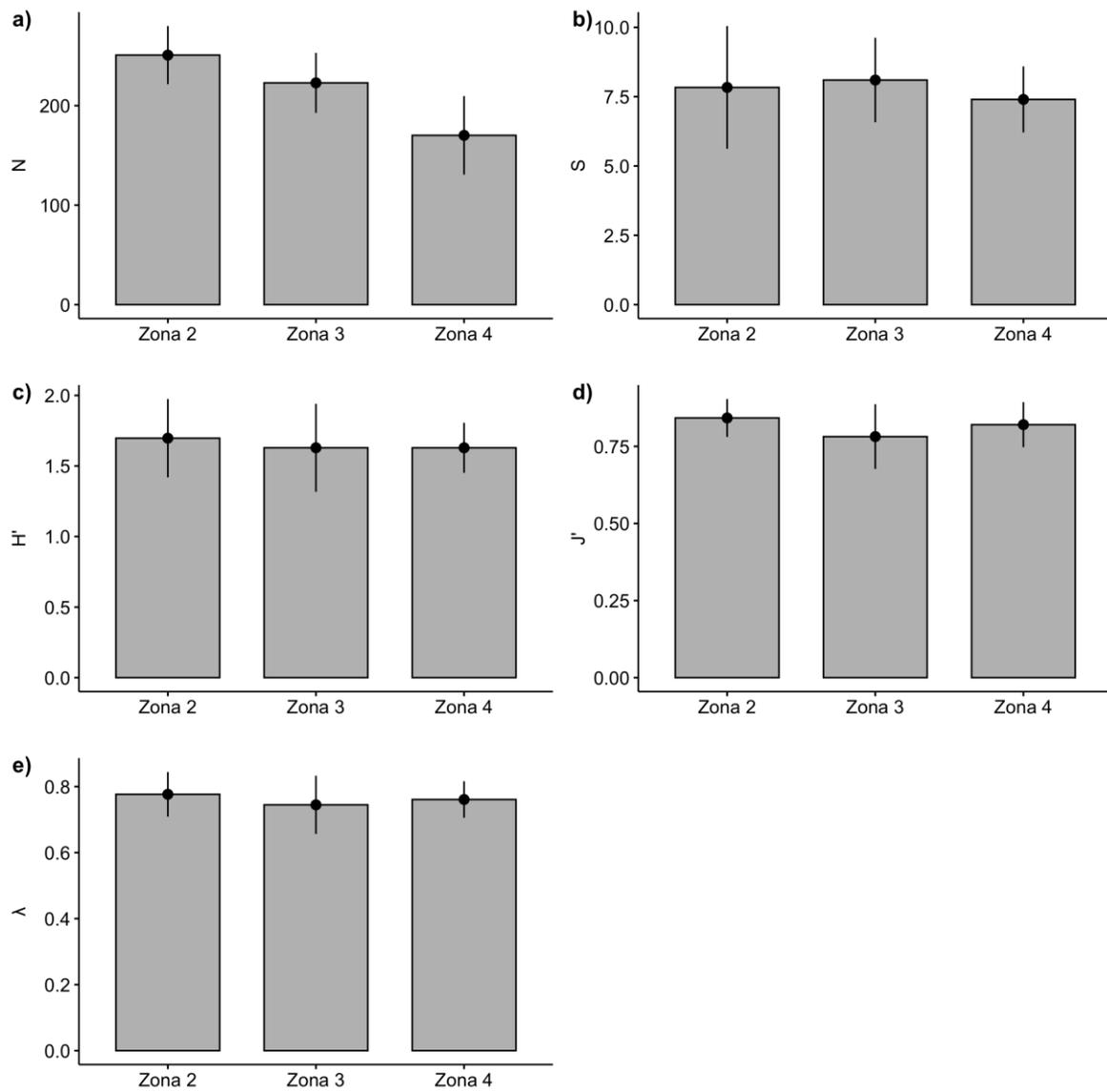


Figura 137. Índices comunitarios promedio por zona para comunidades de fondos duros medidas en cobertura. Campaña enero 2022. N : abundancia; S : riqueza de especie; H' : diversidad de Shannon-Wiener; J' : uniformidad de Pielou; λ : dominancia de Simpson.

4.2.3.4 Análisis integrado

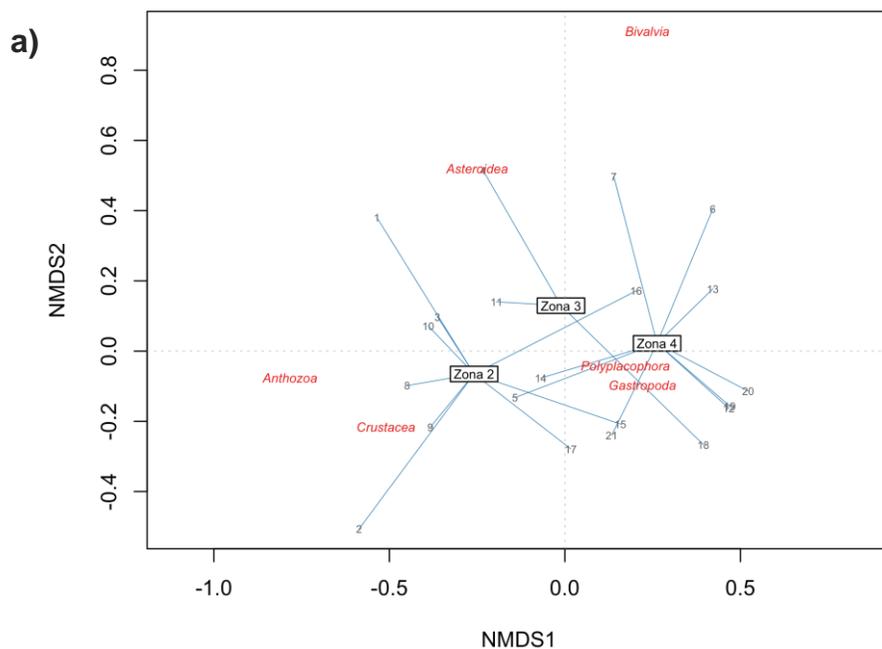
Como una forma de determinar patrones generales en la composición de la macrofauna intermareal de fondos duros para las 3 campañas analizadas, en las **Figuras 138** y **139** se entregan los resultados de un análisis de ordenación multivariado del tipo escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) para la composición de densidades de clases de especie por sitios de muestreo, agrupadas por Zona y Campaña.

Los resultados obtenidos indican que, para el caso de las especies contabilizadas (**Figura 138**), tanto la clasificación espacial como temporal resultan estadísticamente significativas ($P < 0,01$), y en ambos casos explican un 25% de la dispersión de la ordenación NMDS (PERMANOVA $R^2 = 0,25$). registrándose, en términos espaciales, mayor presencia de antozoos y crustáceos en la zona 2, y mayor presencia de poliplacóforos y gastrópodos en la zona 4 (**Figura 138a**). Temporalmente, la abundancia de gastrópodos y poliplacóforos se incrementó durante la campaña de agosto 2022, mientras que en octubre 2021 se registró mayor presencia de asteroideos y bivalvos (**Figura 138b**).

Para el caso de las especies medidas en cobertura (**Figura 139**), las clasificaciones espacial y temporal resultaron estadísticamente significativas ($P < 0,05$), siendo la clasificación entre campañas la que explica una mayor proporción de la variabilidad de la ordenación (PERMANOVA $R^2 = 0,22$). Espacialmente, se observa una mayor mezcla que la observada en el caso de las especies medidas en densidad (**Figura 138**), registrándose mayor presencia de poliquetos en la zona 4 y mayor presencia de ascidias, antozoos y bivalvos en la zona 2 (**Figura 139a**). Temporalmente, la diferenciación es más clara, observándose que la mayor presencia de antozoos y ascidias se produjo durante la campaña de agosto 2022, mientras que la mayor presencia de poliquetos fue observada en octubre 2021 (**Figura 139b**).

Estos resultados indican que las comunidades de la macrofauna intermareal de fondos duros exhiben una alta variabilidad espacial y temporal, observándose la existencia de diferenciación estadísticamente significativa en la composición de especies agrupadas por Clases, lo que permite inferir una variabilidad importante en la estructura de estas comunidades dentro de los sitios de muestreo analizados.

PERMANOVA $R^2=0.25$, $P<0.01$



PERMANOVA $R^2=0.25$, $P<0.01$

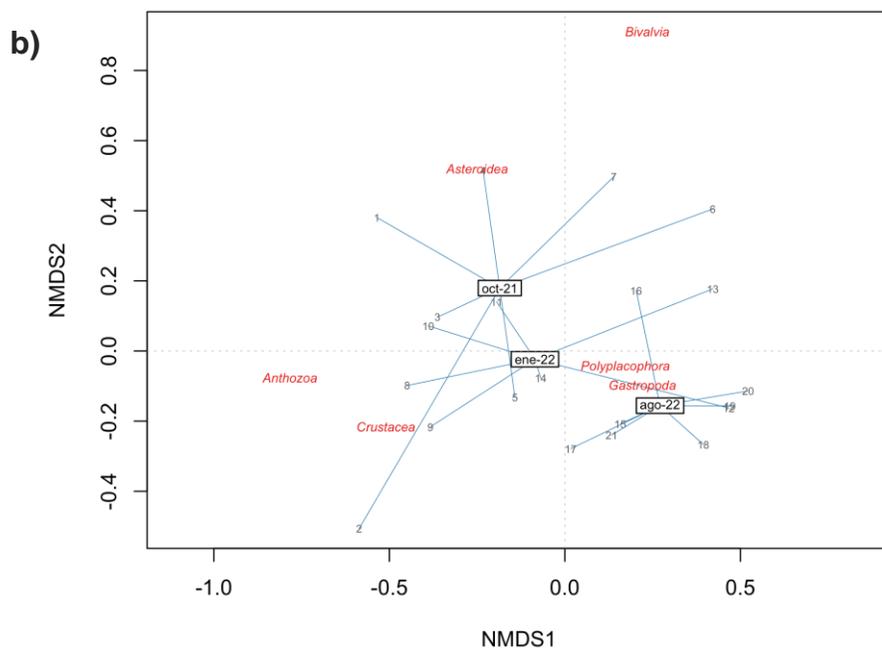
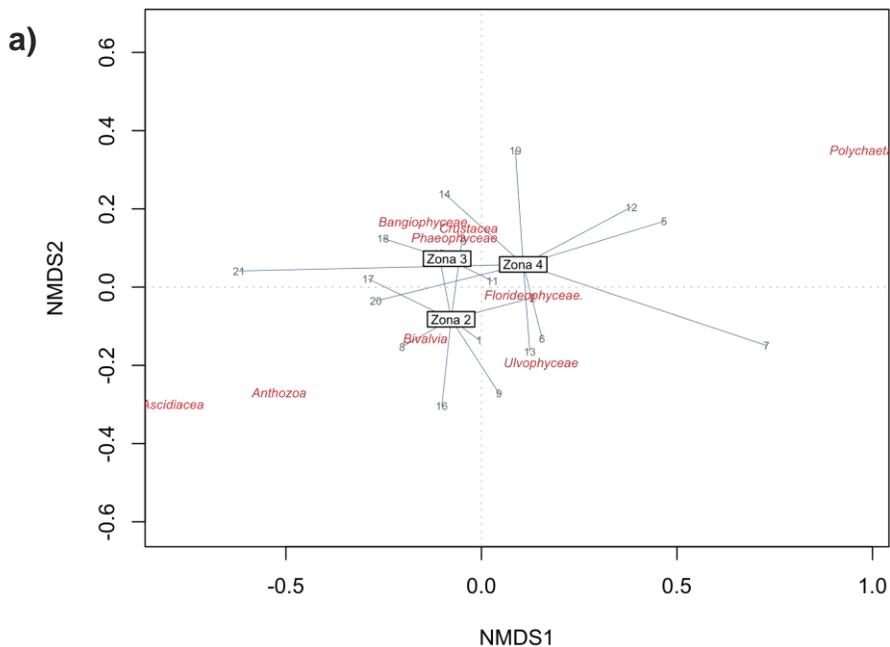


Figura 138. Resultado del análisis NMDS para la composición de la macrofauna intermareal de fondos duros por sitio de muestreo. Especies medidas en densidad y analizadas por Clase taxonómica. a) puntajes clasificados por zona; b) puntajes clasificados por campaña.

PERMANOVA $R^2=0.16$, $P<0.01$



PERMANOVA $R^2=0.22$, $P<0.05$

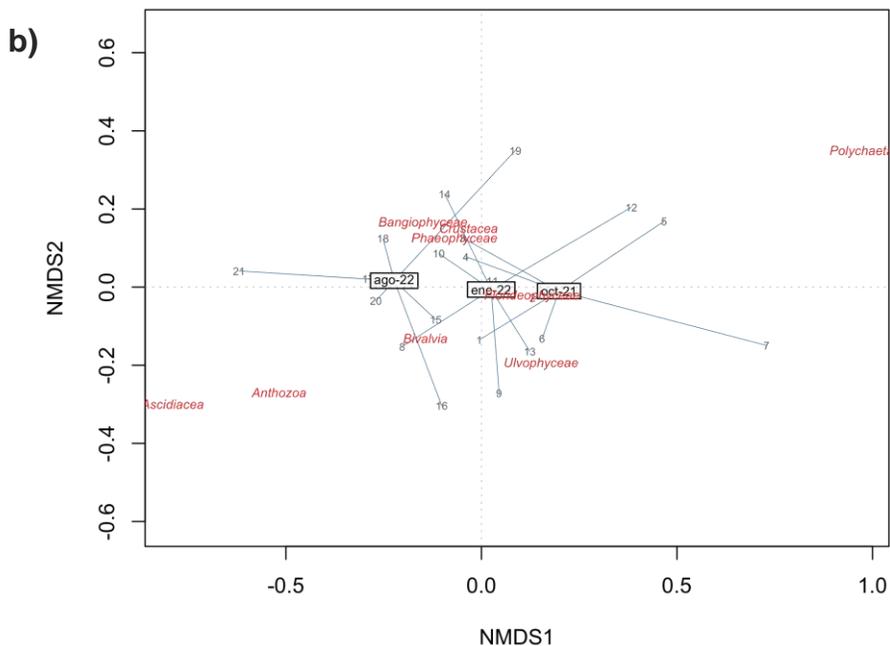


Figura 139. Resultado del análisis NMDS para la composición de la macrofauna intermareal de fondos duros por sitio de muestreo. Especies medidas en cobertura y analizadas por Clase taxonómica. a) puntajes clasificados por zona; b) puntajes clasificados por campaña.

4.3 Propuesta de optimización

4.3.1 Análisis químicos en agua y sedimentos

Con base en el análisis integrado de la data y considerando la existencia de una mayor variabilidad temporal en el caso de la columna de agua y mayor diferenciación espacial en el caso de los sedimentos, se propone lo siguiente:

- a. Parámetros con valores bajo los límites de detección: Los parámetros Hg, detergentes y clorofenoles medidos en columna de agua de los ambientes estuario y submareal mostraron el 100% de las determinaciones de laboratorio bajo los límites de cuantificación. En el caso de los sedimentos, el EOX mostró el 100% de los registros bajo los límites de cuantificación, tanto en los ambientes submareal, como estuarios e intermareal. Estos parámetros pueden ser descartados de futuros monitoreos.
- b. Estaciones de muestreo: Dada la alta variabilidad observada en las estaciones de muestreo y la alta dispersión en los resultados, no resulta recomendable considerar la eliminación de sitios de monitoreo. Por el contrario, en el caso de la Zonas 3 y 4 se observó una baja densidad espacial de puntos de muestreo, por cual se sugiere incrementar el número de estaciones. Preliminarmente se sugiere incorporar 2 puntos de muestreo en la Zona 3 y 1 punto de muestreo en la Zona 4.
- c. Frecuencia de muestreo: Los resultados del análisis integrado de la data fisicoquímica revelaron que la matriz agua de mar posee una alta variabilidad temporal, la que está asociada a la oceanografía del Golfo de Arauco, mientras que la matriz sedimento, por el contrario, mostró una alta diferenciación espacial y baja diferenciación temporal. Con base en estos resultados, se propone que las campañas de muestreo en columna de agua permitan reflejar la variabilidad estacional que se produce en el Golfo de Arauco, incrementando el número de campañas de 3 a 4 campañas en el año. En el caso de los sedimentos marinos, se sugiere realizar 2 campañas al año en condiciones climáticas contrastantes (invierno, verano).

4.3.2 Comunidades del bentos submareal

Al analizar en forma integral las tres campañas de muestreo de la macrofauna bentónica resaltan las siguientes tres conclusiones: (i) alta heterogeneidad espacial en las abundancias totales dentro de cada Zona de muestreo y para las tres campañas, (ii) alta variabilidad temporal en las abundancias totales (*i.e.* al menos un orden de magnitud entre la tercera y primeras dos campañas), (iii) ausencia de un patrón general espacial en la diversidad alfa entre las tres campañas (ej. riqueza de especies, diversidad de Shannon-Wiener, equidad de Pielou y dominancia de Simpson), (iv) clara disimilitud espacial en la macrofauna bentónica de la Zona Biobio (estuarina) respecto a las Zonas marinas para las tres campañas, (v) mayor similitud comunitaria de la macrofauna bentónica entre las Zonas 1, 2 y 3, respecto a la Zona 4 para las tres campañas y (vi) clara disimilitud temporal entre las tres campañas de muestreo al agrupar todas las Zonas por período de muestreo, probablemente asociado a los cambios temporales en las abundancias totales.

Al considerar estas seis conclusiones, las recomendaciones para un Programa de Monitoreo de la macrofauna marina bentónica, en el Golfo de Arauco, son las siguientes: (i) incrementar la resolución temporal al menos a campañas trimestrales (verano, otoño, invierno, primavera), (ii) incrementar la replicación de muestras a un mínimo de 3, y (iii) incrementar el número de estaciones de la Zona 4, idealmente generando un diseño con el mismo número de estaciones por cada Zona de muestreo.

4.3.3 Comunidades del intermareal arenoso

De acuerdo con los resultados observados a la fecha en general se observan marcadas variaciones espaciales, entre zonas, y temporales en el ensamble de especies que habita la zona intermareal del Golfo de Arauco. En esta línea se destaca la potencial ocurrencia de fenómenos de reclutamiento por parte del decápodo *Emerita analoga*, no obstante, este tendría un componente espacial, donde se destaca la zona 2 como principal área de reclutamiento. Sobre este punto los datos además sugieren una aparente inconsistencia con lo establecido en la literatura acerca del fenómeno de reclutamiento de *Emerita analoga*, especie para la cual se señala la ocurrencia natural de más de un evento de reclutamiento al año, primavera y verano. Sobre estos elementos se sugiere realizar campañas de monitoreo trimestrales sobre una mayor

extensión temporal con el objetivo de establecer la posible ocurrencia de un patrón espacio-temporal local para la especie dentro del Golfo de Arauco.

En términos de la definición de zonas de evaluación, las zonas 1 y 2 han mostrado atributos particulares que sugieren su persistencia como elementos de evaluación. Por una parte, la zona 1, definida por la presencia de la desembocadura del río Bio-Bio se destaca por mostrar los menores valores para la mayoría de los descriptores ecológicos empleados en la evaluación, hecho que pudiera ser consecuencia de la acción del río Bio-Bio. En el caso de la zona dos, se destaca la ocurrencia de la mayor abundancia de *Emerita analoga*, lo que sugiere a esta zona como un componente relevante para el reclutamiento de la especie. En esta línea, si lo observado en la campaña de primavera corresponde a un patrón o es fenomenológico requiere una evaluación a mayor tiempo plazo como fue sugerido. En relación con las zonas 3 y 4, ambas zonas muestran una importante similitud en los índices ecológicos y riqueza, no obstante, en términos de la abundancia de individuos la zona 4 muestra valores inferiores. Al respecto debemos considerar que estas zonas corresponden a las de menor representatividad en términos del número de sitios, evaluándose 4 sitios en la zona tres y 3 en la zona 4. Al respecto se sugiere inicialmente el incremento en lo posible en el número de sitios a evaluar de manera de estimar si las diferencias en abundancia estarían asociadas al esfuerzo de muestreo o sería consecuencia de factores locales. En esta línea, si un incremento en el esfuerzo de muestreo evidencia una consistencia en los resultados observados es posible considerar la fusión de ambas zonas, considerando una relocalización de los esfuerzos de muestreo disponibles entendiendo que esta macrozona se caracteriza por presentar una menor actividad humana en relación con la observada en las zonas 1 y 2.

4.3.4 Comunidades del intermareal rocoso

A la luz de los resultados obtenidos a partir de las 3 campañas de muestreo es posible establecer la existencia de importantes variaciones espaciales y temporales para el ensamble de especies que habitan los fondos duros del intermareal en el Golfo de Arauco. Dado que los resultados de los análisis efectuados evidencian que la variabilidad temporal resulta alta y estadísticamente significativa, observándose cambios marcados en la representatividad de ciertos grupos taxonómicos, como las actinias y ascideas, resulta factible sugerir lo siguiente:

(i) incrementar la resolución temporal del monitoreo a campañas trimestrales (verano, otoño, invierno, primavera);

(ii) mantener la configuración del diseño espacial de muestreo en áreas con presencia de fondos duros, considerando un mínimo de 10 cuadrantes de muestreo en cada franja del intermareal (30 cuadrantes en total por sitio).

Agregar Figura actualizada con puntos muestreos propuestos + Tabla con frecuencia de estudios.

4.3.5 Resumen de las propuestas

- I. Columna de Agua: se propone efectuar 4 campañas al año (frecuencia trimestral).
- II. Sedimentos superficiales: se propone efectuar 2 campañas al año en condiciones contrastantes (invierno y verano).
- III. Se propone eliminar aquellos parámetros que se encuentren en un 100% bajo el límite de cuantificación (columna de agua: mercurio, detergentes y Clorofenoles; Sedimentos superficiales: EOX).
- IV. Se propone aumentar el número de puntos de muestreo en las zonas 3 y 4, con la finalidad contar con una representatividad espacial comparable a las zonas 1 y 2 (ver **Figura 2 y 140**), las zonas quedarían con este número de estaciones:
 - Zona 1: 6 Submareal/ 5 Intermareal/2 Humedal
 - Zona 2: 7 Submareal/ 7 Intermareal/ 3 Rocoso
 - Zona 3: 7 Submareal/ 6 Intermareal/ 1 Rocoso
 - Zona 4: 6 Submareal/ 6 Intermareal/ 3 Rocoso

Se incorporan 5 estaciones de muestreo en el intermareal de playa, para la Zona 3 (IP-17 e IP-18) y Zona 4 (IP-20, IP-22 e IP-23), mientras que en el submareal se agregan 5 estaciones de muestreo en la Zona 3 (S-16 y S-19) y en Zona 4 (S-21, S-22 y S-25) ver **Figura 140**.

- V. Para el caso de macrofauna submareal e intermareal de playas de arena se propone aumentar el número de réplicas de 2 a 3 en todos los sitios, esto dado la alta variabilidad detectada entre replicas, estaciones de muestreo y campañas.

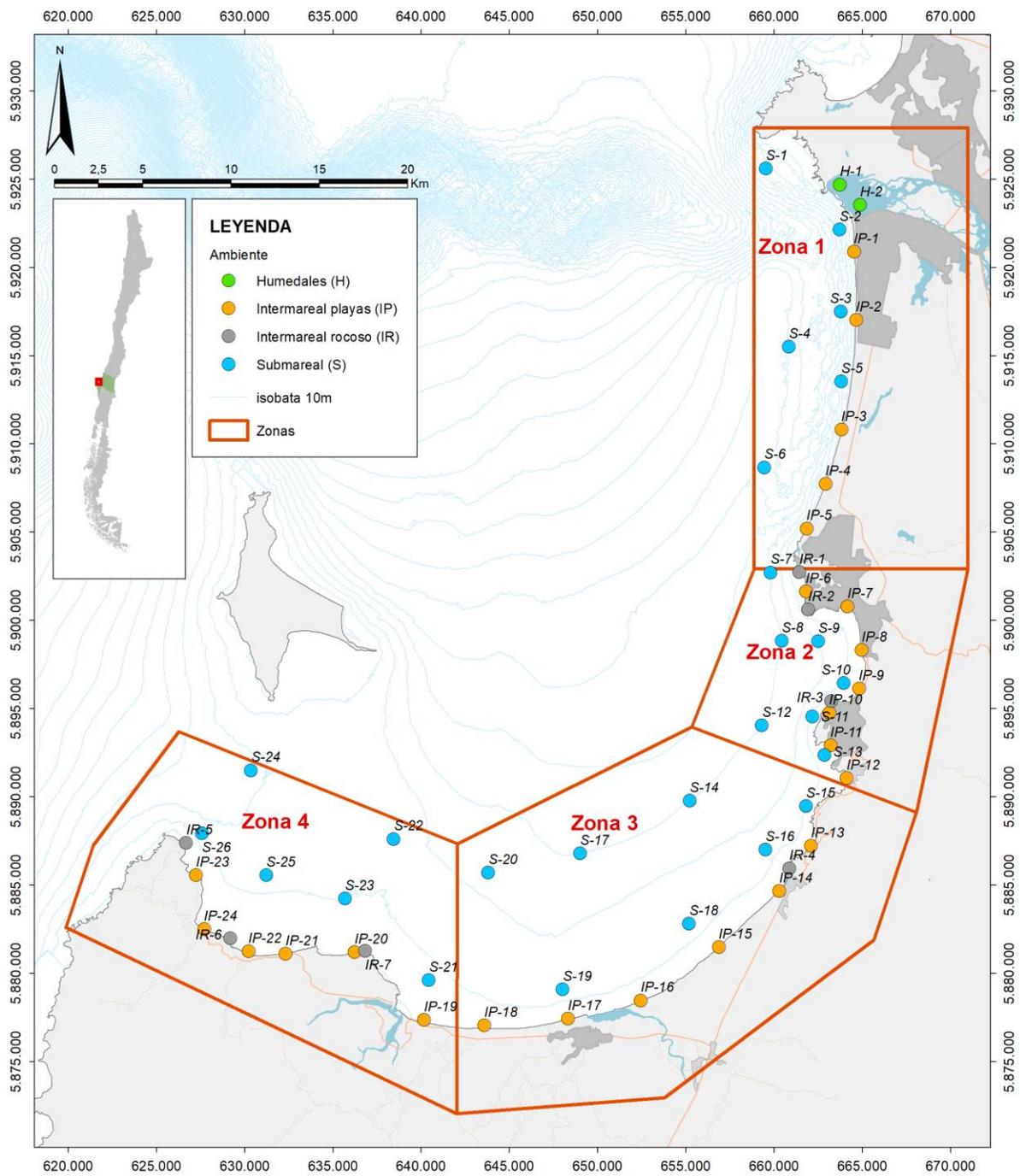


Figura 140. Mapa con Zonas y puntos de muestreo propuestos para el submareales (azul) e intermareales (naranja), en este mapa se incorporan para 5 estaciones para el submareal de la Zona 3 (IP-17 e IP-18) y Zona 4 (IP-20, IP-22 e IP-23), y 5 estaciones para el intermareal de la Zona 3 (S-16 y S-19) y Zona 4 (S-21, S-22 y S-25).

4.4 Talleres

4.4.1 Acta de reunión, taller contraparte técnica SSMA.

4.4.1.1 Generales

MOTIVO DE LA REUNIÓN:	Presentación de Resultados Proyecto
LUGAR:	telemática vía Teams
FECHA:	05-12-2022
HORARIO:	10:00 AM
ASISTENTES:	<p>Moderador, Carmen Verónica Droppelmann Cuneo, Subsecretaria del Ministerio Medio Ambiente.</p> <p>Presentador, Marco Antonio Abdón Salamanca Orrego Laboratorio Oceanografía Química, Universidad de Concepción.</p> <p>Presentador, Cristian Mauricio Chandia Vallejos, Laboratorio Oceanografía Química, Universidad de Concepción.</p> <p>Presentador , Aldo Fabian Hernández Rodríguez, Centro de Investigación en Recursos Naturales, Holon SpA.</p> <p>Presentador , Eduardo Hernández Miranda Universidad, Católica de la Santísima Concepción.</p> <p>Presentador, José Miguel Bogdanovich Rojas, Pontificia Universidad Católica de Chile.</p> <p>Asistente , Francisca Andrea Cuevas Parga, Ministerio Medio Ambiente.</p> <p>Asistente , Sergio Felipe Sairafi Bazan, Ministerio Medio Ambiente.</p> <p>Asistente , Sergio Francisco Troncoso Layi, Ministerio Medio Ambiente.</p> <p>Asistente, Cristian Alberto Cornejo Moraga, Ministerio Medio Ambiente.</p> <p>Asistente, Sebastián Aleth Jofre Rojas, Ministerio Medio Ambiente.</p> <p>Asistente, Herty Ediliz Roa Silvestre, Ministerio Medio Ambiente.</p> <p>Asistente, Sandro Araneda Repposi, Ministerio Medio Ambiente.</p> <p>Asistente, Juan Luis Orellana Caces, Ministerio Medio Ambiente.</p> <p>Asistente, Jadhriel Eduardo Godoy Molina, Ministerio Medio Ambiente.</p> <p>Asistente, Hernán Latuz Abarzua, Ministerio Medio Ambiente.</p> <p>Asistente, Jesús David Rodríguez Rivas, Ministerio Medio Ambiente.</p>

4.4.1.2 Comentarios generales

La reunión comenzó con una introducción de parte de la Sra. Verónica Droppelmann dando a conocer los objetivos del proyecto, hablando de la norma secundaria y los aspectos relevantes que tiene el proyecto como estado actual del Golfo Arauco.

Posteriormente el Dr (c). Cristian Chandía expuso las generalidades del proyecto, con énfasis en las campañas de monitoreo y actividades efectuadas en cada una de las campañas realizadas. Posteriormente el Dr. Eduardo Hernández expuso los resultados de macrofauna submareal de fondos blandos, luego el Dr. José Miguel Bogdanovich expuso los resultados de la macrofauna intermareal de playa de arena (fondos blandos), continuo el Dr. Aldo Hernández quien presento los resultados de la macrofauna intermareal de fondos duros. Finalmente, el Dr. Marco Salamanca presentó los resultados de la calidad química en agua y sedimentos.

En términos generales, los asistentes manifestaron el importante aporte de los resultados obtenidos, y el valor de proyecto como punto de partida para una norma en el Golfo de Arauco. También se conversó sobre posibles parámetros a monitorear, origen de las variaciones, el uso de testigos de sedimentos para establecer concentraciones naturales en sedimentos y la preocupación por los aportes industriales que existen en la zona de estudio.

El Equipo de Trabajo, señaló que el objetivo de este estudio fue generar una línea base actualiza del Golfo de Arauco desde las condiciones fisicoquímicas y biológicas monitoreadas, y a partir de los resultados, generar una propuesta de optimización, la cual también fue entregada a los asistentes a la reunión.

Finalmente, el Dr. Marco Salamanca presentó la propuesta de optimización del monitoreo que, en términos generales, propone lo siguiente:

- Matriz agua: Se propone efectuar 4 campañas al año (frecuencia trimestral).
- Matriz sedimentos: Se propone efectuar 2 campañas al año en condiciones contrastantes (invierno y verano).
- Se propone eliminar los parámetros que se encuentren en un 100% bajo el límite de detección de la técnica analítica (Columna de agua: Hg, SAAM y Clorofenoles; Sedimentos: EOX).
- N° de estaciones: Se propone aumentar el número de puntos de muestreo en las zonas 3 y 4, con la finalidad de lograr una representatividad espacial similar a la de las zonas 1 y 2.

Para el caso de macrofauna submareal e intermareal de playas de arena se propone aumentar el número de réplicas (de 2 a 3) para disminuir la heterogeneidad espacial

The slide features a central icon of a boat labeled 'Kay Kay A, UABC'. To its right, three circular panels illustrate sampling techniques: 'Muestreo Columna de Agua' (Water Column Sampling) with a CTD rosette and a 1-liter bottle; 'Muestreo Sedimentos Superficiales' (Surface Sediment Sampling) with a corer and a 0.5 x 1 kg sediment bag; and 'Muestreo de macrofauna Submareal e Intermareal' (Subtidal and Intertidal Macrofauna Sampling) with images of hands collecting samples from the seabed. A grid of images on the right shows laboratory equipment and personnel. At the bottom, a banner reads 'Muestreo 17025 / Cadena de Custodia / Análisis Acreditados'.

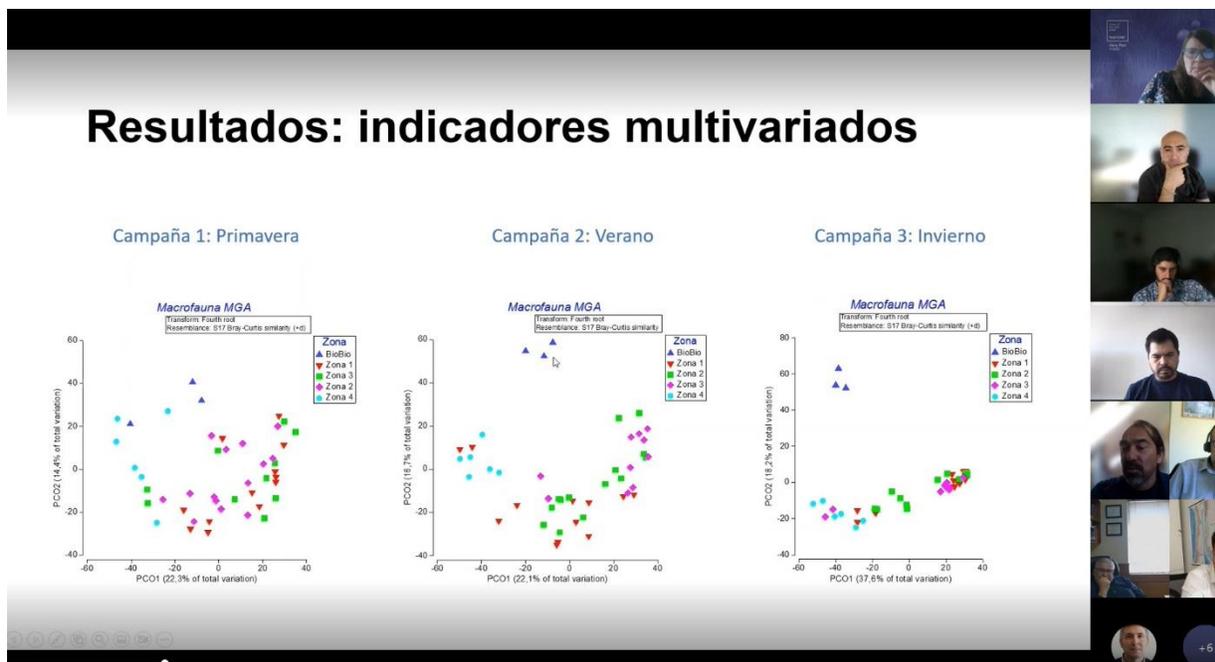


Figura 141. Captura de pantalla del taller con la contraparte técnica, 2 de diciembre de 2022.

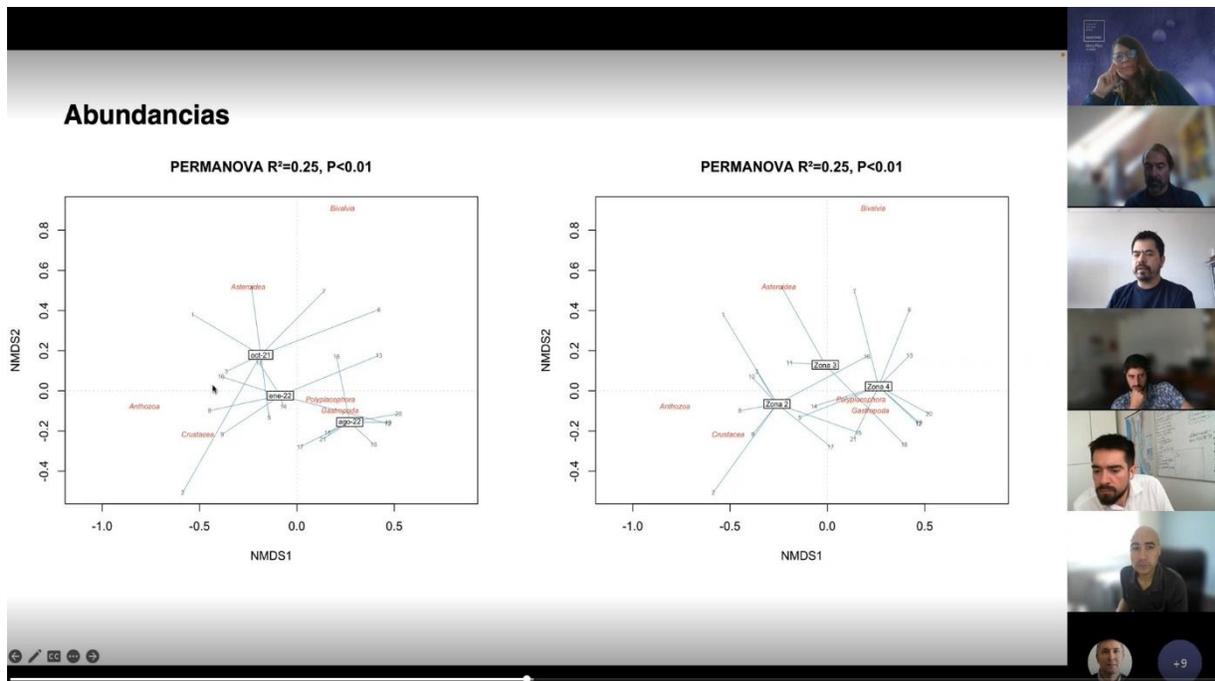


Figura 142. Captura de pantalla del taller con la contraparte técnica, 2 de diciembre de 2022.

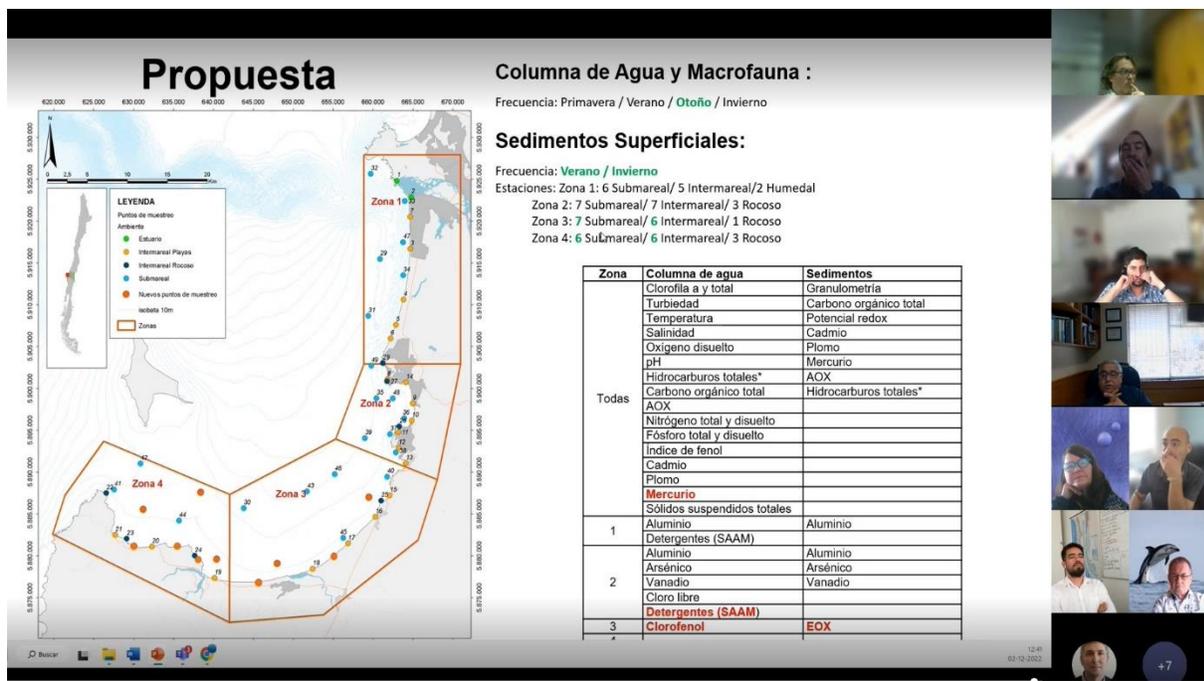
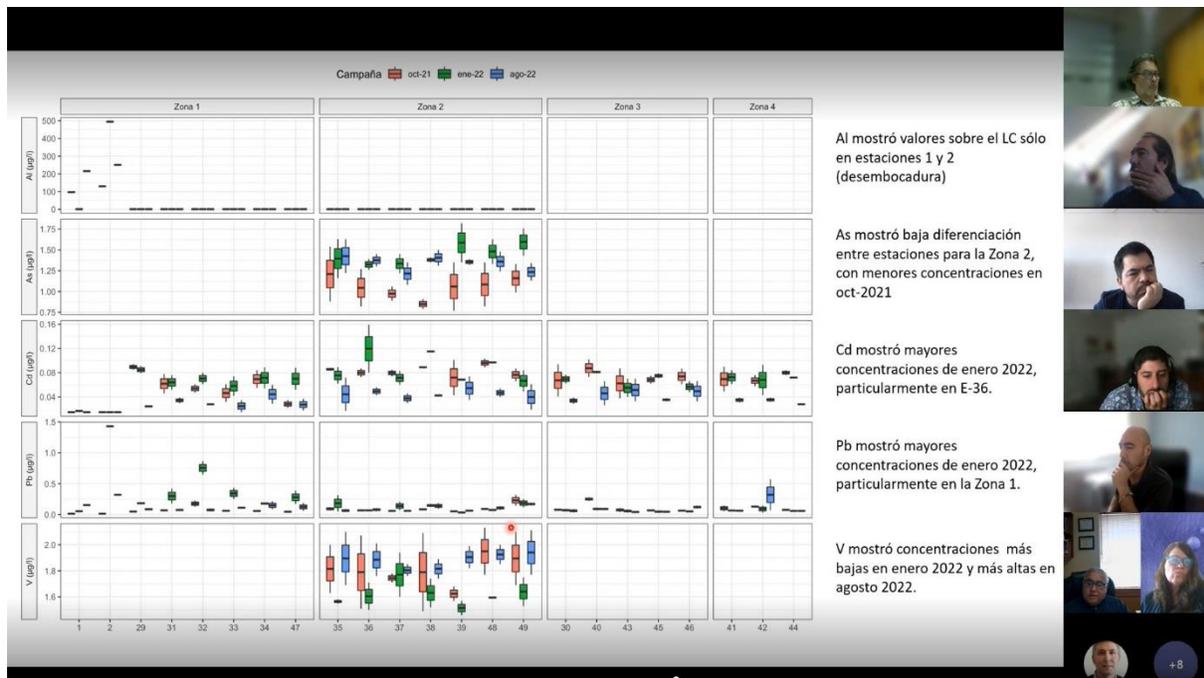


Figura 143. Captura de pantalla del taller con la contraparte técnica, 2 de diciembre de 2022.

4.4.1.3 Apuntes de la reunión

TEMA 1	Introducción
	<p>Verónica Droppelmann, realiza la introducción del taller, dando a conocer los objetivos del proyecto, hablando de la norma secundaria y los aspectos relevantes que tiene el proyecto como estado actual del Golfo Arauco.</p>
TEMA 2	Contexto general del proyecto
	<p>El Sr. Cristian Chandía, expone las generalidades del proyecto, indicando las principales actividades que se desarrollaron en las campañas de monitoreo.</p> <p>Sergio Felipe Sairafi Bazan: pregunta por los días de muestreo que se requirieron para la ejecución de las campañas.</p> <p>Cristian Chandía: El muestreo del submareal considera en cada campaña de muestreo a lo menos 5 días de muestreo, donde se utiliza 1 día para cada zona, esto principalmente por las largas distancias entre los sitios de muestreo, dejando un último día para terminar todo lo inconcluso, que regularmente corresponde a los sedimentos de las estaciones más alejadas de la zona 3 y 4. Aldo Hernández, menciona que para el muestreo de fondos duros y blandos se utilizaron en promedio 2 semanas por campaña de muestreo, esperando las mareas de sicigia para obtener un mejor registro de las observaciones en este ambiente.</p>
TEMA 3	Exposición Sr. Eduardo Hernández
	<p>Se exponen los resultados asociados al análisis de la macrofauna submareal de fondos blandos.</p> <p>Uno de los participantes pregunta por ¿la asociación entre presencia de especies y calidad de los sedimentos?</p> <p>Eduardo Hernández: hoy existen varios índices que relacionan el uso de biota bentónica con variables químicas, para utilizar estos índices se debe tener una acabada información ecológica de las comunidades y dado que los resultados expuestos hablan de una alta heterogeneidad espacial y temporal, esta información hasta el momento es limitada y esta aparece como una primera buena aproximación, pero aun con falta de información.</p> <p>También se pregunta por uno de los criterios de la guía para la elaboración de normas secundarias, donde uno de los principales ejes a considerar debe ser el rol ecológico de las comunidades o individuos presentes en la zona ¿Cómo se puedes utilizar la información obtenida para una futura norma?</p>

	<p>Eduardo Hernández: para utilizar a los organismos bentónicos dentro de los criterios para una norma, se debe establecer y conocer bien los diferentes grados de tolerancia de las especies presentes a los parámetros que se desean normar y desde ese base se podrían establecer criterios ecológicos basados en tolerancia y efectos.</p> <p>¿Como fueron definidas zonas de monitoreo en este proyecto?</p> <p>Aldo Hernández: La definición fue propuesta inicialmente en un anterior proyecto que se desarrolló en el Golfo de Arauco para levantar la información presente en esta área, y en ese mismo proyecto se utilizaron varios criterios, entre los cuales se tomó en consideración los usos territoriales, topografía costera, tipo de industrias, asentamientos humanos, presencia de emisarios y emisiones de los emisarios catastrados entre otras, es decir, fue una evaluación multicriterio.</p> <p>Son esperables los cambios de abundancias, en ordenes de magnitud como lo registrado entre invierno y verano</p> <p>Eduardo Hernández: Dado que existen una alte heterogeneidad espacial y temporal, además de una reconocida distribución aleatoria de las comunidades del bentos submareal, registrar cambios en las abundancias de ordenes de magnitud entre estaciones del años, es algo esperable, ahora bien, solo contamos con 3 fotografías ambientales del sistema en estudio, y dado lo fraccionado de esta observación no podemos ver la evolución temporal del cambio de las abundancias, es uno los principales resultados que nos llevan más adelante a proponer aumentar la frecuencia de muestreo, réplicas y sitios para poder resolver los cambios detectados con mayor detalle.</p>
TEMA 4	Exposición Sr. José Miguel Bogdanovich
	<p>Se presentan los resultados del análisis de la macrofauna intermareal de playas de arena (fondos blandos).</p>
TEMA 5	Exposición Sr. Aldo Hernández
	<p>Se exponen los resultados asociados al análisis de la macrofauna intermareal de fondo rocoso.</p> <p>¿Como se logró seleccionar los sitios de muestreo?</p> <p>Aldo Hernández: La identificación de los sitios de muestreo está basada en el conocimiento local que este equipo de trabajo presenta, ya que somos de la región y conocemos bien la zona, para esto se seleccionaron afloraciones rocas importantes, a las cuales se pudiera acceder y que presentan especies objetivo, todo ello nos permitió hacer una selección de los sitios de muestreo más adecuados para una buena descripción de las comunidades de fondos duros.</p>

TEMA 6 y 7	Exposición Sr. Marco Salamanca
	<p>Resultados del Monitoreo de parámetros químicos en Columna de Agua y Sedimentos Superficiales. Propuesta de Monitoreo.</p> <p>Consultas sobre las mediciones de cloro libre residual realizadas en las aguas de la zona 2, si corresponden al mismo parámetro regulado por la EPA, esto porque los límites que esta norma menciona están entre 7,5 y 13 ug/L, es decir, este rango está muy por debajo de lo detectado en la zona 2.</p> <p>Marco Salamanca: este es un parámetro que mide la cantidad de cloro presente en una muestra y no cloruros, que representa la cantidad de cloro después de oxidar la materia orgánica disponible, en agua de mar el contenido de materia orgánica es alta, lo que queda de cloro es porque ya no debía quedar materia orgánica por oxidar. Tal vez un mejor indicador de la presencia de estos compuestos de clorados, se podría monitorear los trihalometanos.</p> <p>Consulta: ¿en agua vemos que no existen grandes diferencias entre las campañas y los parámetros, pero en los sedimentos?</p> <p>Cristian Chandia: los parámetros que presentaron mayor diferenciación fueron los hidrocarburos totales, plomo y AOX, donde los mayores contenidos fueron detectados en la zona 2 (Lota – Coronel), esto está muy ligado al tipo de sedimentos (granulometría que domina).</p> <p>Consulta: se puede hacer testigos de sedimentos, en donde y que parámetros, sobre todo por el cadmio detectado en zona 3, ¿puede ser que sea natural?</p> <p>Marco Salamanca: el tema del cadmio es complejo, debido a que se ha descrito bien que están presentes en masas de aguas que están presentes en la zona de muestreo, y también se ha detectado que una baja en las abundancias.</p> <p>Consulta: que pasa con los aportes de los emisarios submarinos descarga de aguas residuales domesticas ¿Cuáles son los emisarios ?</p> <p>Aldo Hernández: desde boca sur hasta corone existen varios emisarios submarinos de distintas características, la que se hizo en este proyecto se toma una imagen de las condiciones del medio, sin poder establecer que es de origen antrópico o natural, en columna de agua no encontramos grandes cambios por las características transientes de la columna de agua.</p> <p>Consulta: se realizó algún análisis histórico de la Bahía.</p> <p>Marco Salamanca: existen algunos estudios previos en la Bahía de Coronel, lo que no es extrapolable al resto de las zonas monitoreadas en el Golfo. Así es como el tamaño de grano y color de los sedimentos esta influenciado por los</p>

	<p>aportes del río Biobío, por lo tanto, existe una división natural de las zonas, lo que debe ser considerado en el contexto de una norma.</p> <p>Eduardo Hernández: La fotografía espacial, de los aspectos químicos, físicos y biológicos de la zona costera del Golfo de Arauco, existe información fragmentada, por lo que estos resultados son como la línea base actual.</p> <p>Cristian Cornejo, los aportes de los emisarios submarinos, con sustancias poco estudiadas como hormonas, residuos domésticos, se ha incorporado alguno de estos parámetros o contaminantes emergentes?</p> <p>Verónica Droppelmna: es probable que avancemos poco en ese sentido por existe poca información inclusive a nivel internacional, por ejemplo, en Quinteros Puchuncavi se incorporó en el nonilfenol un contaminante emergente provenientes en los detergentes. Se ha incorporado AOX y Clorofenoles, pero yo estaría conforme al contar con una norma bien sólida y pocos parámetros, y ha pasado que al normar unos parámetros otros también se regulan.</p> <p>Cristian Chandia: Otro punto a tener en consideración con estos parámetros emergentes es cuan practico o no es proponer un parámetro emergente, de debe tener en cuenta es: se puede analizar o no, existen laboratorios que lo analicen, límites de detección, métodos validados para la matriz, ya que existen parámetros que han sido propuestos de vigilar como los fitoesteroles, donde los laboratorios que los analizan no logran llegar a los concentraciones naturales y reportan todos sus datos para estos parámetros bajo el límite de detección. Por lo tanto, incorporar parámetros emergentes sin tener estos antecedentes resueltos, no nos aportarían información con la calidad necesario para ser utilizados en una norma.</p>
Cierre	13:02 PM

4.4.2 Acta de reunión, taller CRAS Coronel.

4.4.2.1 Generales

MOTIVO DE LA REUNIÓN:	Presentación de Resultados Proyecto
LUGAR:	CICAT, Coronel
FECHA:	05-12-2022
HORARIO:	10:00 AM
ASISTENTES:	Humberto Pool, SERNAPESCA Fernanda Saldías, Camanchaca Luis Fuentes, PRAS Patricio Parra, PRAS Manuel Gutiérrez, PRAS, Verónica Droppelmann, Subsecretaría Medio Ambiente Oscar Reicher, SEREMI Medio Ambiente Cristian Chandía, Equipo Investigador Aldo Hernández, Equipo Investigador Eduardo Hernández, Equipo Investigador Tania Concha, Consejera Regional Carlos Leal, Equipo Investigador Sebastián Morales, SEREMI Medio Ambiente Marco Salamanca, Director Equipo Investigador Carlos Candia, MIDESO Miriam Espinoza, Integración Humana Herty Roa, Profesional PRAS

4.4.2.2 Comentarios generales.

La reunión comenzó con palabras de bienvenida del SEREMI de Medio Ambiente Sr. Oscar Reicher y posteriormente una introducción de parte de la Sra. Verónica Droppelmann respecto a lo que son las normas secundarias y los pasos administrativos de su tramitación.

Posteriormente el Dr (c). Cristian Chandía expuso las generalidades del proyecto, con énfasis en las campañas de monitoreo y las actividades efectuadas en cada campaña. Posteriormente el Dr. Eduardo Hernández expuso los resultados de macrofauna submareal de fondos blandos y luego el Dr. Aldo Hernández expuso los resultados de la macrofauna intermareal de fondos duros y blandos. Finalmente, el Dr. Marco Salamanca presentó los resultados de la calidad química en agua y sedimentos.

En términos generales, los asistentes manifestaron su preocupación por los aportes del río Biobío al Golfo, y cómo este puede verse afectado, en especial ante la aparición de eventos de maras rojas. Se mencionó también preocupación por algunas empresas instaladas en la zona como la ampliación de Planta Arauco, ESSBIO y sus aportes (contaminantes) al Golfo.

Desde el Equipo de Trabajo, se señaló que, el estudio tiene la finalidad de generar una primera mirada general del Golfo de Arauco, y a partir de los resultados, generar una propuesta de optimización, la cual también fue entregada a los asistentes a la reunión.

Finalmente, el Dr. Marco Salamanca presentó la propuesta de optimización del monitoreo que, en términos generales, propone lo siguiente:

- Matriz agua: Se propone efectuar 4 campañas al año (frecuencia trimestral).
- Matriz sedimentos: Se propone efectuar 2 campañas al año en condiciones contrastantes (invierno y verano).
- Se propone eliminar los parámetros que se encuentren en un 100% bajo el límite de detección de la técnica analítica (Columna de agua: Hg, SAAM y Clorofenoles; Sedimentos: EOX).
- N° de estaciones: Se propone aumentar el número de puntos de muestreo en las zonas 3 y 4, con la finalidad de lograr una representatividad espacial similar a la de las zonas 1 y 2.
- Para el caso de macrofauna submareal e intermareal de playas de arena se propone aumentar el número de réplicas (de 2 a 3) para disminuir la heterogeneidad espacial.



**LISTA DE ASISTENCIA
PROGRAMA PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL DE CORONEL**

Lugar: *Ciudad Coronel*
Fecha: *05 - diciembre - 2022*



NOMBRE	CARGO	CORREO	Fono	Firma
<i>Guillermo Pao</i>	<i>profesional</i>	<i>hpaol@sermapra.cl</i>	<i>41 316 90 00</i>	<i>[Firma]</i>
<i>Fernanda Saldaas Hernández</i>	<i>Medio Ambiente Comarcal</i>	<i>Fernanda.Saldaas@grupexma.cl</i>	<i>9 52549044</i>	<i>[Firma]</i>
<i>Luís Fuentes Parados</i>	<i>PRAS</i>	<i>lfuentesparados@amib.cl</i>	<i>981444719</i>	<i>[Firma]</i>
<i>P. Parada</i>	<i>PRAS</i>	<i>Potricio.porada_rubio@amib.cl</i>	<i>962447925</i>	<i>[Firma]</i>
<i>Manuel González</i>	<i>PRAS</i>	<i>manuel.gonzalez@amib.cl</i>	<i>9138 2289</i>	<i>[Firma]</i>
<i>VERONICA DROPPELMAN</i>	<i>PROFESIONAL MIA</i>	<i>vdroppelman@mma.gob.cl</i>	<i>977671707</i>	<i>[Firma]</i>
<i>OSCAR REICHER SALAZAR</i>	<i>SEREMI</i>	<i>oreicher@mma.gob.cl</i>	<i>967273121</i>	<i>[Firma]</i>
<i>Cristian Pamela Valdivia</i>	<i>Investigador</i>	<i>cechaneli@udec.cl</i>	<i>998015914</i>	<i>[Firma]</i>
<i>ALDO HERNANDEZ</i>	<i>INVESTIGADOR</i>	<i>aldo.hernandez@bolonchile.cl</i>	<i>990507335</i>	<i>[Firma]</i>
<i>EDUARDO HERNÁNDEZ</i>	<i>INVESTIGADOR</i>	<i>EHERNANDEZ@UCSC.CL</i>	<i>887691299</i>	<i>[Firma]</i>
<i>Loreta Cecilia Hidalgo</i>	<i>Investigador</i>	<i>loreciahidalgo@quimil.com</i>	<i>957892515</i>	<i>[Firma]</i>
<i>Carlos Leal</i>	<i>INVESTIGADOR</i>	<i>carlos.leal@bolonchile.cl</i>	<i>984033002</i>	<i>[Firma]</i>
<i>[Firma]</i>	<i>MMA</i>	<i>mmufo@mma.gob.cl</i>	<i>935112558</i>	<i>[Firma]</i>

1



**LISTA DE ASISTENCIA
PROGRAMA PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL DE CORONEL**

Lugar: *Ciudad Coronel*
Fecha: *05 - diciembre - 2022*



NOMBRE	CARGO	CORREO	Fono	Firma
<i>MARCO SALAMANCA</i>	<i>director M.O.A</i>	<i>M.Salamanca@Dreda.cl</i>	<i>992198480</i>	<i>[Firma]</i>
<i>CARLOS CANDIA JARA</i>	<i>MINSO</i>	<i>CCANDIAJARA@mollosa.cl</i>	<i>930262947</i>	<i>[Firma]</i>
<i>Miriam Espinoza</i>	<i>Integración Humana</i>	<i>talancuna1974@live.com</i>	<i>976058141</i>	<i>[Firma]</i>
<i>Herty Rox Silvestre</i>	<i>profesional PRAS</i>	<i>hrox@mma.gob.cl</i>	<i>41-2563655</i>	<i>[Firma]</i>

1

Figura 144. Listado de asistentes a reunión, 5 de diciembre de 2022.



Figura 145. Mosaico fotográfico reunión PRAS, 5 de diciembre de 2022.



Figura 146. Mosaico fotográfico reunión PRAS, 5 de diciembre de 2022.

4.4.2.3 Apuntes de la reunión.

TEMA 1	Introducción
	<p>Verónica Droppelmann, efectúa una introducción a la reunión, indicando las diferencias que tiene una norma primaria y secundaria, y las etapas que deben cumplirse hasta la concreción de la norma secundaria.</p>
TEMA 2	Contexto general del proyecto
	<p>El Sr. Cristian Chandía, expone las generalidades del proyecto, indicando las principales actividades que se desarrollaron en las campañas de monitoreo.</p> <p>Humberto Pool: Menciona que los aportes que ingresan por el río tales como sedimento, sílice, MOT, pueden provocar acidificación en la zona de estudio. Está ocurriendo un cambio en fitoplancton, con mayor aporte de materia orgánica y menor aporte de sílice, hay también un aumento de dinoflagelados, que aportan al aumento de mareas rojas.</p> <p>Cristian Chandía: El contexto de este estudio, es tener una visión actualizada del Golfo. Si bien el Golfo, tiene estudios muy fraccionados y se han estudiado por partes, este estudio representa una visión general b.</p> <p>En términos de materia orgánica se está midiendo MOT %. En el caso del COT, sabemos que existen variaciones, pero no podríamos decir por qué. Si bien este parámetro es un poco más alto que el promedio, es en parte debido a yacimientos carboníferos en la zona.</p> <p>Humberto Pool: Todavía queda por construir 3 hidroeléctricas grandes, pensando en una norma secundaria, a lo mejor esto podría tener un efecto sobre el aporte al río Biobío, y de éste al GA.</p> <p>Cristian Chandía: Efectivamente, las hidroeléctricas generan retención de sedimentos, y hacen disminuir los aportes. Pero debiéramos ponernos en el contexto del proyecto.</p> <p>Aldo Hernández: En este contexto, el ánimo es tener una primera visión general del GA, basado en componentes que son parte de las normas secundarias. En este tipo de estudios, es la primera línea base y generarán un nuevo diseño.</p> <p>Manuel Gutiérrez: Si se puede saber dónde se hicieron los estudios. ARAUCO ha significado un tremendo problema, cerca de la planta no hay cardúmenes de peces, ahora esta planta creció exponencialmente, y ¿que significará esto en el tiempo? Ellos dicen que estamos limpios y que no contaminan, a veces los estudios son guiados por poderes facticos.</p>

Cristian Chandía: Nuestro estudio sí consideró puntos de muestreo en esa zona y adicionalmente, en la optimización proponemos aumentar los sitios de muestreo en esa zona.

Manuel Gutiérrez: Se hizo un estudio de contaminación en Coronel, donde se sobrepasa la norma, pero por una cuestión operativa de turismo, esto se calla. Coliformes fecales sobrepasan la norma (Estudio de Rodrigo González)

ESSBIO debe mejorar, se levantan mil voces en contra, yo creo en el trabajo de la Universidad, el problema es que hay voces que acallan esto.

Sr2: Mantención y la vida de bordes costeros: Una de sus fuentes de mantención se va regulando por diferentes maneras por ejemplo por ríos y esteros.

Sería posible sabe si, los microorganismos que escurren y llegan al Golfo, donde nosotros estamos interviniendo, ¿puede ocurrir un desbalance en el sistema, con los parámetros que ustedes tienen? ¿se podría hacer un seguimiento? ¿saber de qué manera se ha intervenido y dónde está afectando el borde costero?

Cristian Chandía: Los sistemas como estos que son tan dinámicos, con tantos forzantes, la descarga del río entrega nutrientes limitantes muchas veces...y están afectados por cosas que ocurren tanto en el continente como en el océano. Ejemplo son las mareas rojas, ligadas a eventos mucho mayores a las escalas de ríos, donde hay nutrientes que están llegando a la zona costera y en términos prácticos es muy difícil establecer causalidad. Hay un área muy grande, donde se diluyen todas las huellas, debiera ser algo muy evidente para poder asociarlo fácilmente. Por ejemplo, cuando hay una descarga de algo muy tóxico, se puede asociar la descarga con el evento.

Sr3. Cuando hay aportes foráneos, por estudios podría notarse lo que está llegando al borde costero, y cuando hechas contaminantes al mar, depende de la cantidad que sea. ¿Hay ejemplos si eso no existían antes ahí? Por ejemplo, el Asbesto.

Cristian Chandía: Ha habido un aumento de mercurio por atmósfera que afecta a los sedimentos. Es difícil de detectar en algunos casos.

Aldo Hernández: Es difícil encontrar relación-causa efecto. Muchas veces los efectos crónicos son más difíciles de pesquisar. Este monitoreo puede generar la base para dar respuesta a esto.

Sr. 4: Forestales eliminan competencia de monocultivos al aplicar un pesticida. Antes salía changle y setas...cuando llueve el herbicida que aplica va al estero/río, y luego va al mar, esto es tóxico. Es aporte de veneno, que habría que considerarlo.

Tania Concha: Yo propongo que, a través de este estudio, se pueda hacer una especie de Sistema de Información Territorial, el cual se vaya en el tiempo llenando con estudios e información...que desde el CRAS podría levantarse un SIG con todos estos estudios. Saber qué es lo que tenemos.

	<p>Por otro lado, se debiera generar un plan de difusión en conjunto con consejeros de la sociedad civil, científicos, para de manera lúdica y comprensible se entienda. La política sin conocimiento científico se hace de muy mala manera.</p> <p>Oscar Reicher: De las distintas aristas, debemos saber hacia dónde debemos apuntar este rompecabeza. Tener claridad que es lo que buscamos proteger.</p> <p>Humberto Pool: Tener estaciones de monitoreo en las desembocaduras del Carampangue, por ejemplo.</p> <p>Aldo Hernández: Viene más adelante.</p>
TEMA 3	Exposición Sr. Eduardo Hernández
	<p>Se exponen los resultados asociados al análisis de la macrofauna submareal de fondos blandos.</p> <p>Sra 1: Los poliquetos que se encontraron principalmente en la zona de ENEL, ¿están asociados a algún grado de contaminación?</p> <p>Eduardo Hernández: En estos estudios, uno puede indicar qué tan perturbado está el ambiente, donde grano de arena grueso, implica un tipo de comunidad y grano fino implica otro tipo de comunidad.</p> <p>Humberto Pool: ¿Como nos puedes explicar la variabilidad espacio temporal encontrada?</p> <p>Eduardo Hernández: En la Zona 1 y 2, el grano es más heterogéneo, y en zonas más al sur hay sedimentos más finos.</p> <p>En cuanto a la variabilidad temporal, debe estar asociado a proceso de reclutamiento, donde las larvas se dispersan antes del asentamiento, cada especie es distinta. Podrías hacer el seguimiento completo con muestra semanales, por ejemplo, esta variabilidad probablemente está asociada a la biología de cada especie.</p>
TEMA 4	Exposición Sr. Aldo Hernández
	<p>Se exponen los resultados asociados al análisis de la macrofauna intermareal de fondo arenoso y rocoso.</p> <p>Humberto Pool: Los choritos aumentan en primavera, ¿hay datos de estructura de tallas?</p> <p>Aldo Hernández: No, en este estudio no considero el análisis de estructura de tallas.</p>

TEMA 5	Exposición Sr. Marco Salamanca
	<p>Propuesta de optimización</p> <p>En el agua, el Al alto en la desembocadura, lo cual es esperable As está bajo en comparación a la literatura (2,5 ug/L) La mayoría de las variaciones se dan en el efecto zona. El sedimento fino es el que retiene las señales químicas. En el submareal las variaciones son entre las campañas (agua) En sedimentos, las diferencias son entre zonas, más gruesos en el intermareal y más finos en los submareales.</p> <p>Coronel presenta las mayores concentraciones de los parámetros analizados, y Zona 4 (Tubul) muestra las menores concentraciones de la mayoría de los parámetros.</p> <p>Sra 2: Este levantamiento se hizo antes del evento porque había una configuración de ferrita, (color) que llego al borde costero. Las denuncias de pescadores de la Laraquete, en enero después de año nuevo, surgieron unas especies de corrientes móviles, de color café. No sabemos si eso se vio en el estudio. Esto fue durante la segunda quincena de enero.</p> <p>Marco Salamanca: Esa señal no la captamos.</p> <p>Sra 2: Nosotros estuvimos conversando con los profesores de PRAS, y decían que eran detergentes...yo los asocio a hierro, y esa duda nos quedó dando vuelta.</p> <p>Marco Salamanca: Que un detergente deje color café, es raro.</p> <p>Humberto Pool: El evento al que se menciona a mediados de enero y principios de febrero, fueron dinoflagelados.</p> <p>Manuel Gutiérrez: En estas conclusiones me falta un cuadrito que fue lo que encontramos. Desde el punto de vista práctico, esto es lo que encontramos esto es normal y esto es anormal.</p> <p>Aldo Hernández: en la columna de agua no hay zonas especialmente afectadas, solo la zona del rio tiene mayor variabilidad.</p> <p>Los sedimentos indican que en las estaciones de Coronel y Lota, están las concentraciones son más altas</p> <p>El intermareal tiene 2 estaciones (11 y 12) con los parámetros más altos.</p>

Coronel y Lota son las estaciones que muestran las zonas más altas.

La zona 4 (Tubul) muestran otra cosa.

Humberto Pool: Hay una componente, que son zonas de retención y la hidrografía que hay ahí, me parece natural que los parámetros sean altos en sedimentos. Tasas de sedimentación y de captación para poder limpiar era señal.

Aldo Hernández: si son zonas de retención, tal vez en la planificación territorial, podría indicarse. Por ejemplo, en el caso del mercurio, la señal se observa luego de 40 años. Si tienes área de retención y alta cantidad de descarga y obviamente eso no saldrá de ahí.

Cuando se planifica no se establece, o no se considera la circulación de bahías.

Sra 2. En el proceso productivo se debe tener claridad cuánto de un residuo terminará en el mar. Si yo producto tomates, sé cuanta carga de kilos de tomates malos tendré que botar en alguna parte.

Cristian Chandia: Zonas de retención y depositación, en la zona donde está el puerto pesquero de Coronel, hay un giro que favorece depositación, hay grano más fino y mayor retención. Hay algo que debe quedar claro, nosotros no vamos a cambiar la condición de la bahía. La retención no dejará de seguir, no es tan sencillo como decir empecemos a eliminar cosas, hay que considerar muchos otros factores, donde hay intervención industrial, hay que considerar un radio donde existan áreas de retención, hay que conocer si es grano fino.

Manuel Gutiérrez: Debemos ir nivelando hacia arriba, las empresas no quieren. Las pesqueras antes lanzaban sus riles al mar y ahora no. ¿por qué no podemos hacer lo mismo con las sanitarias?

Verónica Droppelmann: Ellos (Equipo Investigador) están respondiendo a lo solicitado. Lo que usted indica, es responsabilidad del Estado, en otras palabras, es pega nuestra. Ejemplo de ello, es lo que está sucediendo en el Lago Villarrica donde está disminuyendo la contaminación.

Marco Salamanca: En invierno todo se homogeniza, la surgencia cambia la condición del Golfo.

Aldo Hernández: Por eso es importante monitorear.

Verónica Droppelmann: En Quintero la surgencia se deja afuera, pero no se puede dejar afuera este fenómeno.

TEMA 6	Propuesta de Monitoreo
	<p>Agua: Campañas trimestrales</p> <p>Sedimentos: Eliminar una campaña</p> <p>Estaciones: Aumentar el número de sitios en las zonas 3 y 4 (balancear con las zonas de más al norte)</p> <p>Aumentar el número de replicas para disminuir heterogeneidad espacial</p> <p>Eliminar parámetros que BLD (Bajo el límite de detección de la técnica analítica)</p> <p>Humberto Pool: El aumento del número de estaciones, dentro de las zonas ¿están en algún sector específico?</p> <p>Aldo Hernández: Si, son los puntos rojos indicados en el mapa.</p> <p>Sr 4: Se hicieron los exámenes, ahora el diagnostico vuelve al médico, ¿quién sería el medico ahora?</p> <p>Verónica Droppelmann: El Ministerio de Medio Ambiente.</p>
Cierre	14:15 PM

5 Comparación con referencias

En las Tablas 37, 38 y 39 se presenta una revisión bibliográfica que muestra el contenido de AOX y metales reportados en columna de aguas y sedimentos marinos en Chile y otras regiones del mundo. Adicionalmente, son incluidos los valores obtenidos en este monitoreo realizado en el Golfo de Arauco.

Los AOX registrados en este estudio se presentan en la Tabla 37 como el rango completo de las tres campañas de muestreo en todas las estaciones del submareal. A partir de los datos reportados en la Tabla 37 se puede observar que en general las concentraciones registradas en el contexto del monitoreo del Golfo de Arauco son totalmente comparables con los registros obtenidos con KanKaanpa *et al.* (1994), y se encuentran entre 3 a 7 veces por debajo de lo reportado para la bahía de Hangzhou en China, donde han sido registrados hasta valores de 716 ug/L, zona altamente industrializada y que recibe los aportes urbanos a través de varios ríos que desembocan en ella.

Tabla 37. Concentraciones de AOX en aguas marinas obtenidas desde literatura

Ubicación	Localidad	Unidad	AOX	Fuente
China	Bahía Hangzhou	ug/L	(140-716)	Ya-Wei, 2018
Estonia	Bahía Tallin	ug/L	(27,0 -74,0)	KanKaanpa et al., 1994
Rusia	Bahía Vyborg	ug/L	(26,0-55,0)	KanKaanpa et al., 1994
Finlandia	Golfo Finlandia	ug/L	(180-240)	KanKaanpa et al., 1994
Chile	Golfo de Arauco	ug/L	(28,9-44,6)	Este estudio

En la **Tabla 36 y 37** se presentan diferentes estudios sobre concentraciones de metales columna de agua y sedimentos marinos superficiales de Chile y el mundo. En términos generales, las concentraciones reportadas para la columna de agua del Golfo de Arauco en este estudio corresponden a la fracción total, sin embargo, en la **Tabla 36** son incorporados datos de las fracciones disueltas y total. Los datos reportados en este estudio se caracterizan por estar dentro del rango reportado para la mayoría de las bahías chilenas y del mundo en la fracción total y disuelta de las referencias utilizadas, solo se observa que los datos de V, Al y As presentan concentraciones hasta de un orden de magnitud menor que lo reportado por Valdés et al., 2008,

Valdés et al., 2008, Valdés, et al., 2011 para datos obtenidos desde Bahía San Jorge en la ciudad de Antofagasta.

En cuando al contenido de Pb los sedimentos superficiales los datos obtenidos en este estudio (**Tabla 37**) estan dentro del rango informado para otras bahías de la región del Biobío y de Chile, en tanto que los máximos reportados para Cd en este estudio estan por sobre los contenidos para la costa del Biobío (Chandia y Salamanca, 2012), en tanto que estas concentraciones de estas magnitudes han sido reportadas para Bahía Concepción y Bahía Mejillones (varios autores **Tabla 37**). El Hg presenta una condición similar a lo reportado para el Cd, es decir, que los datos informados por Chandia *et al.* (2022) para Bahía Coronel son menores que los registrados en el contexto de este monitoreo, y son solo comparables con los registros obtenidos en Chañaral por Bore *et al.* (1986). Por último, los registros máximos obtenidos para As y V en Bahía Coronel (Zona 2), estan por sobre los referencias comparadas en la **Tabla 37**.

Tabla 38. Concentración de metales en aguas marinas en estudios realizados en Chile y en otras zonas del mundo.

Región	Localidad	Fracción	Unidad	Cd	Pb	Hg	V	Al	As	Fuente
Bio Bio	Bahía San Vicente	Disuelto	µg/L	0,014	0,16					Ahumada, R. (1994). Díaz, O. (1993). Carrera, et al., 1993. SERPLAC. 1980 Stauber et al., 2005 SERPLAC. 1981 Este estudio
	Bahía San Vicente	-	µg/L			0,83				
	Bahía Concepción	Disuelto	µg/L	0,1	3,25					
	Bahía Concepción	Disuelto	µg/L	(0,02 - 1,05)	(0,02 - 3,50)					
	Bahía Coliumo	Disuelto	µg/L							
	Golfo de Arauco	Disuelto	µg/L	(0,12 - 0,19)	(0,30 - 0,38)					
	Golfo de Arauco	Total	µg/L	(0,02-0,16)	(0,03-0,86)	<0,50	(1,46-2,13)	<0,70	(0,70-1,82)	
Valparaíso	Playa Amarilla Valparaíso	Disuelto	µg/L	(0,22 - 0,32)	(3,06 - 5,12)	*				Universidad de Valparaíso. 1987
	Playa Amarilla Valparaíso	Disuelto	µg/L	(0,22 - 0,33)	(3,06 - 5,13)	*				Universidad de Valparaíso. 1987
	Concon Valparaíso	Disuelto	µg/L	(0,28 - 0,29)	(1,86 - 8,83)	*				Universidad de Valparaíso. 1988
Antofagasta	Bahía Mejillones	Disuelto	µg/L	0,42 (0,09-1,15)						Valdés et al., 2006
	Bahía Mejillones	Disuelto	µg/L	0,04 (0,01-0,11)			4,95 (3,59-6,61)			Valdés et al., 2008
	Bahía Mejillones	Disuelto	µg/L	0,04 (0,01-0,07)			3,78 (2,11-6,39)			Valdés et al., 2008
	Bahía Mejillones	Total	µg/L	2,17 (0,41-7,78)						Valdés et al., 2006
	Bahía Mejillones	Total	µg/L	0,27 (0,04-0,80)			7,33 (4,40-9,23)			Valdés et al., 2008
	Bahía San Jorge, El Lenguado	Disuelto	µg/L		0,019					Valdés, et al., 2011.
	Bahía San Jorge, Murallones	Disuelto	µg/L		0,02					Valdés, et al., 2011.
	Bahía San Jorge, Universidad de Antofagasta	Disuelto	µg/L		0,029					Valdés, et al., 2011.
	Bahía San Jorge, Puerto Antofagasta	Disuelto	µg/L		0,017					Valdés, et al., 2011.
	Bahía San Jorge, Descarga Industrial	Disuelto	µg/L		0,02					Valdés, et al., 2011.
	Bahía San Jorge, Las Rocas	Disuelto	µg/L		0,019					Valdés, et al., 2011.
	Bahía San Jorge, Los Metales	Disuelto	µg/L		0,018					Valdés, et al., 2011.
	Bahía San Jorge	Disuelto	µg/L	0,03 (0,016-0,044)	0,04 (0,02-0,09)	0,04 (0,02-0,06)		89,14 (67,42-131,96)	2,35 (1,95-2,94)	Valdés, et al., 2011.
	Bahía San Jorge	Disuelto	µg/L		0,04					Salamanca et al., 2004
	Bahía San Jorge	Disuelto	µg/L		0,02-0,03					Salamanca et al., 2000
Bahía San Jorge	Total	µg/L			(0,02-0,06)				Valdés, et al., 2015.	
Bahía San Jorge	Disuelto	µg/L	(0,02-0,05)	(0,02-0,05)			(71,29-159,96)	(1,71-2,71)	Valdés, et al., 2015.	
Los Lagos	Fiordo Reloncaví	Disuelto	µg/L	0,09	0,55					Ahumada et al., 2011
	Océano abierto	-	µg/L	0,08	0,002	0,001	1,5	0,54	1,72	Chester, 2000
Australia	Zona costera	-	µg/L					(0,8-39,4)		Brad, et al., 2015
EEUU	Zona costera	-	µg/L	(0,001-0,214)						Neff, 2002
EEUU	Zona costera	-	µg/L		(0,02-0,07)					Law, et al., 1994
EEUU	Zona costera	-	µg/L						(1,3-1,7)	Burton, et al., 1980
EEUU	Zona costera	-	µg/L				1,8			Neff, 2002

Numero en paréntesis indican rango de concentraciones; Numero sin paréntesis indica valor promedio; signo (-) no indica la fracción en la referencia

Tabla 39. Concentración de metales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en sedimentos de superficiales en estudios realizados en Chile

Localidad	Fracción	Unidad	Cd	Pb	Hg	As	V	Al (%)	Referencia
Bahía Concepción	-	$\mu\text{g/g}$	2,0	26,4					Carrera et al., 1993
Bahía Concepción	-	$\mu\text{g/g}$	0,24 - 6,27	40,0	0,01 - 4,97				SERPLAC, 1980
Bahía Concepción	-	$\mu\text{g/g}$	6,27	40,1	0,16	16,5			Salamanca et al., 1988
Golfo de Arauco	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$			0,40	-			Gonzalez et al., 2002
Golfo de Arauco	-	$\mu\text{g/g}$	2,24	14,7	0,25	5,8			Salamanca et al., 1988
Golfo de Arauco	-	$\mu\text{g/g}$	2,2	14,68	0,25				SERPLAC, 1980
Costas del Bio Bio	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,24 (0,08- 1,25)	4,38 (2,9 - 9,04)	-			3,65 (3,12- 5,30)	Chandía & Salamanca, 2012.
Bahía Coronel	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$			0,063 \pm 0,055				Chandía et al., 2022
Playa Blanca	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,109	9,58					Ramirez et al, 2005
Bahía San Vicente	-	$\mu\text{g/g}$	3,1	17,35	0,38				SERPLAC, 1980
Bahía San Vicente	-	$\mu\text{g/g}$	3,06	17,4	0,38	5,8			Salamanca et al., 1988
Golfo de Arauco	Extraíbles	$\mu\text{g/L}$	(0,017-3,44)	(1,42-19,62)	(0,0002-0,225)	(1,50-21,07)	(28,53-143,68)	(1,22-9,51)	Este estudio
Bahía Mejillones	-	$\mu\text{g/g}$	20,5	4,7					Valdes, 2004
Bahía Mejillones	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	8,52						Guiñez et al., 2015
Bahía Mejillones	-	$\mu\text{g/g}$	21,9	4,7			43,9	3321	Valdes, 2004
Bahía Mejillones	-	$\mu\text{g/g}$	37,3				134,4	-	Valdes, 2004
Bahía San Jorge	-	$\mu\text{g/g}$		94,2					Valdes et al., 2010
Bahía San Jorge	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$		14,9					Calderón & Valdés, 2012
Bahía San Jorge Coloso	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$		53,1	0,50				Valdes et al., 2010
Bahía San Jorge, La Chimba	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$		38,1	0,60				Valdes et al., 2010
Bahía San Jorge, Puerto	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$		188,9	0,612				Valdes et al., 2010
Chañaral Caleta Palito P	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,833	7,9					Ramirez et al, 2005
Chañaral Caleta Zenteno	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,477	1,57					Ramirez et al, 2005
Chañaral Chañaral Centro	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,093	21,2					Ramirez et al, 2005
Chañaral Chañaral Centro	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,631	10,8					Ramirez et al, 2005
Chañaral El Faro	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,225	6,96					Ramirez et al, 2005
Chañaral El Faro	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,486	10,33					Ramirez et al, 2005
Chañaral La Lancha	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,053	10,6					Ramirez et al, 2005
Chañaral Los Amarillos	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,042	9,37					Ramirez et al, 2005
Chañaral Pan de Azúcar Norte	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,061	3,67					Ramirez et al, 2005
Chañaral Pan de Azúcar Sur	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,106	6,76					Ramirez et al, 2005
Chañaral Punta Achurra	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,507	12,44					Ramirez et al, 2005
Chañaral Punta Norte	Extraíbles	$\mu\text{g/g}$	0,194	12,7					Ramirez et al, 2005
Coquimbo	-	$\mu\text{g/g}$			0,63 - 1,12	3,46 - 10,36			Bore et al., 1986
Iquique	-	$\mu\text{g/g}$			0,36 - 2,03	6,5 - 17,8			Bore et al., 1986
Playa Chañaral	-	$\mu\text{g/g}$	0,093	21,2					Ramirez et al, 2005
Valparaíso	-	$\mu\text{g/g}$	0,57 - 9,51	10,8 - 80,5					Universidad de Valparaíso, 1987
Bahía Quintero-Puchuncaví	-	$\mu\text{g/g}$	0,015-0,609	4,7-13,6	0,013-0,085	4,2-11,8			MMA, 2020

Numero en paréntesis indican rango de concentraciones; Numero sin paréntesis indica valor promedio; signo (-) no indica la fracción en la referencia

6 CONCLUSIONES

El presente informe da cuenta de los resultados obtenidos en las campañas de muestreo realizadas durante primavera (octubre 2021), verano (enero 2022) e invierno (julio-agosto 2022), basado en una descripción espacial y temporal de los parámetros fisicoquímicos y biológicos para columna de agua, sedimentos y macrofauna en los ambientes submareales e intermareal de la franja costera del Golfo de Arauco.

Los parámetros hidrográficos presentaron una notoria estacionalidad, con una marcada estratificación térmica entre 0 y 15 m, la que profundiza hasta los 20 m en enero 2022 y tiende a desaparecer en agosto 2022, junto con la presencia de aguas más frías en la zona adyacente a la descarga del río Biobío (Zonas 1). La salinidad mostro menores concentraciones en superficie, principalmente en las estaciones de las Zonas 1 y 2, particularmente durante la campaña de agosto 2022. El oxígeno disuelto presento similares concentraciones entre estaciones de muestreo para las campañas de octubre de 2021 y enero 2022, con mayores concentraciones a profundidades inferiores a 5 m (> 8 mg/l), con una oxiclina entre 5 y 15 metros y valores < 2 mg/l sobre los 20 m, en tanto que, durante agosto 2022, la columna de agua tiende a homogenizarse en niveles superiores a 5 mg/l en todas las zonas. Por otra parte, la clorofila-a mostro máximos durante octubre 2021 y enero 2022 (>30 mg/m³), particularmente en las Zonas 1 y 2, en la capa superficial <10 m, mientras que agosto 2022, presento un contenido menor de clorofila-a (< 10 mg/m³) en todas las estaciones de muestreo, pero especialmente en las Zonas 1 y 2. La turbidez dio cuenta de máximos en superficie durante octubre 2021 en las Zonas 1 y 3 y en fondo durante agosto 2022, particularmente en estaciones de muestreo ubicadas en las Zonas 1, 2 y 4, probablemente como consecuencia de la resuspension de los sedimentos superficiales.

Los parámetros fisicoquímicos analizados en la columna de agua del submareal mostraron alta variabilidad, con una baja diferenciación espacial, destacando una mayor dispersión de los datos durante octubre 2021, seguida de enero 2022 y una menor variabilidad en agosto 2022. Los sedimentos submareales presentaron marcadas diferencias espaciales durante las 3 campañas de muestreo con un dominio de arenas medias, finas y muy finas, en tanto que la mayor parte de los parámetros analizados presento mayor variabilidad en la zona 2, donde se reportaron los mayores contenidos de hidrocarburos totales, carbono orgánico total, Pb, Hg, AOX y Cd. En tanto

que, las concentraciones más bajas se registraron en la Zona 4, patrón consistente para las 3 campañas de monitoreo.

Los sedimentos estuarinos e intermareales presentaron una distribución granulométrica consistencia durante las 3 campañas de muestreo, con dominio de arenas gruesas en las Zonas 1 y una mayor presencia de arenas finas en las estaciones de muestreo de la Zona 2, 3 y 4. La variabilidad de los parámetros analizados dan cuenta una diferenciación principalmente espacial más que temporal, destacando las estaciones de muestreo 11 y 12 (Zona 2) con las mayores concentraciones de Pb, Hg, carbono orgánico total e hidrocarburos totales, mientras que en la estación 16 (Zona 3) se observan las como mayores concentraciones de AOX.

Del análisis de la macrofauna bentónica de determino una alta heterogeneidad espacial y alta variabilidad temporal en las abundancias totales, con la ausencia de un patrón general espacial en la diversidad alfa, donde las abundancias de los grupos mayores estuvieron dominadas el Phylum Annelida, representado principalmente por la Clase Polychaeta con un rango porcentual entre el 77,37 % (Campaña 1) y 96,84 % (Campaña 3). Las abundancias promedio de la macrofauna bentónica total fueron muy heterogéneas en los tres períodos de muestreo para todas las Zonas. La Zona 2 en general presentó las mayores abundancias promedio y la Zona 4 las menores. Temporalmente el muestreo de agosto de 2022 (tercera campaña) presentó en general casi un orden de magnitud mayor en las abundancias totales respecto a los dos primeros, dando cuenta de importantes cambios de esta variable entre los diferentes muestreos. En tanto que, la riqueza de especies permitió diferenciar la Zona 3, la cual presentó los mayores valores durante el muestreo de agosto 2022, mientras que los otros indicadores comunitarios de diversidad (Shannon-Wiener, Pielou y Simpson), no presentaron un patrón espacial para las Zonas en estudio considerando las tres campañas de muestreo. Sólo el índice de Simpson presentó un gradiente descendiente desde la Zona 1 a la 4 en las dos últimas campañas.

En la macrofauna de playas destacó la potencial ocurrencia de fenómenos de reclutamiento de *Emerita* analoga en la zona 2 como principal área de reclutamiento, lo cual es una aparente inconsistencia con lo establecido en literatura acerca del fenómeno de reclutamiento de *Emerita* analoga, la cual se señala la ocurrencia natural de más de un evento de reclutamiento al año, primavera y verano.

En general la macrofauna intermareal registro un total de 7 especies, dos isópodos *Excirolana braziliensis* y *Excirolana hirsuticauda*, un decápodo *Emerita analoga*, un anfípodo *Orchestoidea tuberculata* y una especie de insecto coleóptero *Phalerisida maculata*, y dos taxones de poliquetos, Spionidae y Opheliidae. Entre estas especies se destacan *Emerita analoga* y *Excirolana hirsuticauda* como dominantes. *Emerita analoga* correspondió a la especie dominante en la campaña de primavera, mientras que *E. hirsuticauda* en las otras dos campañas.

La macrofauna intermareal mostro consistencia en sus atributos a través de las campañas evaluadas, donde los valores de los índices ecológicos mostraron sus registros más altos en la zona centro Sur del Golfo (zonas 3 y 4) en todas las campañas, y con los valores más bajos para todos los índices en la zona 1. Los valores de abundancia promedio fueron mayores en la zona 2 y 3, mientras que la zona 1 mostró los menores registros. La riqueza de especies fue mayor en las zonas 4 y 3 en todas las campañas. La abundancia relativa de las especies presentó diferencias a través de las zonas y tiempo. La mayor abundancia de *E. analoga* se registró en primavera en todas las zonas, pero en especial en la zona 2. En el resto de las campañas *E. hirsuticauda* corresponde a la especie dominante, con la excepción de la zona 1, donde no se registró su presencia en ninguna campaña. La presencia de gusanos poliquetos solo se registró en la campaña de verano en la zona 2 y 3. En las playas se observó una variación temporal en los ensambles de especies relacionado con las zonas de evaluación. La zona 2 mostró cambios en su ensamble en primavera respecto al resto de las campañas, aparentemente dado por un fenómeno de reclutamiento en primavera. La intensidad de este fenómeno si bien se registró en el resto de las zonas, en estas fue de menor intensidad, no distinguiéndose diferencias estadísticas entre campañas.

Para las comunidades de fondos duros, en términos espaciales, mayor presencia de antozoos y crustáceos en la zona 2, y mayor presencia de poliplacóforos y gastrópodos en la zona 4 y temporalmente, la abundancia de gastrópodos y poliplacóforos se incrementó durante la campaña de agosto 2022, mientras que en octubre 2021 se registró mayor presencia de asteroideos y bivalvos. Mientras que las especies medidas en cobertura se observó en los fondos duros dio cuenta de una mayor mezcla que la observada en el caso de las especies medidas en densidad, registrándose mayor presencia de poliquetos en la zona 4 y mayor presencia de ascidias, antozoos y bivalvos en la zona 2. Temporalmente, la diferenciación es más clara, observándose que la mayor presencia de antozoos y ascidias se produjo durante la campaña de agosto 2022, mientras que la mayor presencia de poliquetos fue observada en octubre 2021.

Estos resultados indican que las comunidades de la macrofauna intermareal de fondos duros exhiben una alta variabilidad espacial y temporal, observándose la existencia de diferenciación estadísticamente significativa en la composición de especies agrupadas por Clases, lo que permite inferir una variabilidad importante en la estructura de estas comunidades dentro de los sitios de muestreo analizados.

Al analizar las tres campañas de monitoreo y sobre la base del análisis integrado de los componentes ambientales aquí evaluados, destaca como patrón común la notoria variabilidad temporal de la calidad química en el caso de la columna de agua y macrofauna submareal e intermareal, En tanto que, los sedimentos y comunidades de fondos duros presentaron una mayor diferenciación espacial.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Ahumada, R. (1994). Nivel de concentración e índice de bioacumulación para metales pesados (Cd, Cr, Hg, Ni, Cu, Pb, y Zn) en tejidos de invertebrados benthicos de bahía San Vicente, Chile. *Rev. Biol. Mar*, 29(1), 77-87.
- Anderson, M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26(1), 32–46. doi:10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x
- Bernal C. M. Canales, V. Ctasti, A. Sepúlveda, P. Ruiz, R. Alarcón, S. Nuñez, C. Oyarzún, S. Gacitúa, G. Claramunt y G. Herrera. 2004. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X regiones, año 2003. Informe Final Proyecto FIP 2003-06.
- Bernhardt, A., D. Melnick, J. Jara-Muñoz, B. Argandoña, J. González and M.R. Strecker . 2015. Controls on submarine canyon activity during sea-level highstands: The Biobio canyon system offshore Chile. *Geosphere*, v. 11, no. 4, doi: 10.1130/GESO1063.1.
- Brad M. Angel, A, B Simon, C. Apte A Graeme E. Batley A and Lisa A. Golding. 2015. Geochemical controls on aluminium concentrations in coastal waters. *Environ. Chemistry*. 13(1) DOI:10.1071/EN1502
- Burton, J., Maher, W, Measures, C, and Statham, P. 1980 .Aspects of the distribution and chemical form of selenium and arsenic in ocean waters and marine organisms. *Thalassia Yugosl.*, 16: 155-164.
- Calderón, C., & Valdés, J. (2012). Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 47(1), 121–133. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572012000100011>
- Carrera, M. E., Valenta, P., Ahumada, R., & Rodríguez, V. (1993). Determinación voltamétrica de metales traza en la columna de agua y sedimentos en la Bahía de Concepción. *Rev. Biol. Mar*, 28(1), 151-163.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2018.08.005>.
- Castro L., P. Bernal y V. Troncoso. 1993. Coastal intrusion of copepods: mechanisms and consequences on the population biology of *Rhincalanus nasutus*. *Journal of Plankton Research* 15: 501-515.

- Castro, L., G. Daneri, R. Escribano, L. Farias, H. Gonzalez, C. Morales, O. Pizarro. 2009. Monitoreo de las condiciones oceanográficas en las VIII y IX regiones, año 2007. Informe Final FIP 2007-10. 111 pp + anexos.
- Castro, L., R. Quiñones, H. Arancibia, D. Figueroa, R. Roa, M. Sobarzo y M. Retamal. 1997. Áreas de desove de anchoveta y sardina común en la zona central. Informe Final. FIP-IT 96-11. Universidad de Concepción. 114 pp + figuras y tablas.
- Cayuela, L. 2011. Análisis Multivariante. Área de Biodiversidad y Conservación, Universidad Rey Juan Carlos. Madrid, España. 26 pp.
- Chandía C, Salamanca M, Hernández A, Urrutia R. Sediment mercury concentration changes as a response to increased industrial activity in Coronel Bay, Chile. *Mar Pollut Bull.* 2022 May;178:113630. doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.113630. Epub 2022 Apr 8. PMID: 35405485.
- Chandía C. & M. Salamanca, (2012). Long-term monitoring of heavy metals in Chilean coastal sediments in the eastern South Pacific Ocean, 2012. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 64, Issue 10, October 2012, Pages 2254-2260.
- Chester, R. 2000. *Marine Geochemistry*. Wiley-Blackwell; 2nd edición. 520 pp
- Cubillos L., S. Nuñez, J. Oliva, G. Claramunt, C. Oyarzún, L. Castro R. Roa y H. Rebolledo. 2003. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entra la V y X regiones, año 2002. Informe Final Proyecto FIP 2002-14.
- Cubillos L., S. Nuñez, J. Oliva, G. Claramunt, C. Oyarzún, L. Castro R. Roa y H. Rebolledo. 2005. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entra la V y X regiones, año 2004. Informe Final Proyecto FIP 2004-03.
- Dexter, D. M., 1979. Community structure and seasonal variation in intertidal Panamanian sandy beaches. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 9(5), 543-558.
- Díaz, O. (1993). *Tagelus dombeii* como organismo indicador de la calidad del agua marina en la zona costera de la bahía San Vicente (VIII Región, Chile) y del riesgo de contaminación por mercurio y metilmercurio de origen antrópico (Doctoral dissertation, Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Centro EULA Chile. Universidad de Concepción, Concepción, Chile).
- Effect of Contaminants from Oil Well Produced Water. 200210.1016/B978-008043716-3/50006-3.
- Effect of Contaminants from Oil Well Produced Water. Elsevier, Amsterdam. 200210.1016/B978-008043716-3/50006-3.

- EPA. 2015. National Recommended Water Quality Criteria. United States Environmental Protection Agency. Office of Water. Office of Science and Technology.
- Gonzalez, F., Schalscha, E., Becerra, J., & Silva, M. (2002). Mercury in a marine trophic chain. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 68(3), 448–454. <https://doi.org/10.1007/s001280275>.
- Guíñez, M., Valdés, J., & Castillo, A. (2015). Contenido de metales en sedimentos y en *Emerita analoga* (Stimpson, 1857), en bahía Mejillones del Sur, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(1), 94–106. <https://doi.org/10.3856/vol43-issue1-fulltext-9>.
- J. Valdés, D.Román, M. Guíñez, L.Rivera, J. Ávila, P.Cortés, A. Castillo, 2015. Trace metal variability in coastal waters of San Jorge Bay, Antofagasta, Chile: An environmental evaluation and statistical approach to propose local background levels, *Marine Pollution Bulletin* 100 (2015) 544–554
- Jaramillo, E., Stead, R., Quijon, P., Contreras, H., Gonzalez, M. (1996). Temporal variability of the sand beach macroinfauna in south-central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 69, 641-653.
- Jolliffe, I. T. 2002. Principal Component Analysis. Springer Series in Statistics. New York: Springer-Verlag. doi:10.1007/b98835. ISBN 978-0-387-95442-4.
- Jorge Valdés, Domingo Román, Lidia Rivera, Juan Ávila, Pedro Cortés, 2011. Metal contents in coastal waters of San Jorge Bay, Antofagasta, northern Chile: a base line for establishing seawater quality guidelines. *Environ Monit Assess* (2011) 183:231–228
- Kankaanpaa, H., Tissari, J., 1994. Analysis for EOX and AOX in 2 industry influenced coastal areas in the Gulf of Finland -levels of EOX and AOX in the Kotka region, Finland-levels of EOX in the Neva bay, Russia. *Chemosphere* 29, 241-255.
- Kassambara, A. and Mundt, F., 2020. Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R Package Version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Landaeta M. y L. Castro. 2002. Spring spawning and early nursery zone of the mesopelagic fish *Maurolicus parvipinnis* at the coastal upwelling zone off Talcahuano, central Chile. *Marine Ecology Progress Series* 226: 179-191.
- Landaeta M., G. Herrera, M. Pedraza, C. Bustos y L. Castro. 2006. Reproductive tactics and larval development of bigeye flounder, *Hippoglossina macrops* off central Chile. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom*.

- Landaeta, M. y L. Castro. 2006. Spawning and larval survival of the Chilean hake *Merluccius gayi* under later summer conditions in the Gulf of Arauco, central Chile. *Fisheries Research* 77(1), 115-121. doi: 10.1016/j.fishres.2005.08.006
- Law, R.J.; Waldock, M.J.; Allchin, C.R.; Laslett, R.E.; et al. 1994. Contaminants in seawater around England and Wales: results from monitoring surveys, 1990-1992. *Mar. Poll. Bull.* 28(11):668-675
- Legendre, P. & L. Legendre. 1998. *Numerical Ecology* (2nd Edition). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. 853 pp.
- Lepez I, L Furet & O Aracena. 2001. Población de *Emerita* analoga en playas Amarilla y Rinconada, Antofagasta: aspectos abióticos, bióticos y concentración de cobre. *Gayana* 65(1): 58-67.
- McLachlan, A., & Brown, A. C. (2010). *The ecology of sandy shores*. Academic Press.
- Mead, R. and Martin, A., 1992. Draft Report on Farmer Participation Research, On-Farm Research and Cashew Research. Naliendele Agricultural Research Institute, Mtwara, Tanzania.
- Ministerio de Medio Ambiente, 2020. EVALUACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DE LA BAHÍA DE QUINTERO-PUCHUNCAVÍ, LICITACIÓN ID: 608897-85-LE20, Resolución Exenta N° 845/2020
- Neff, Jerry. 2002. Cadmium in the Ocean. Chapter 5. In: *Bioaccumulation in Marine Organisms*
- Neff, Jerry. 2002. Vanadium in the Ocean. Chapter 3. In: *Bioaccumulation in Marine Organisms*
- Oksanen J., F.G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlenn, P.R. Minchin, R. B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M. Henry, H. Stevens, E. Szoecs & H. Wagner. 2019. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-5. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Palma S. 1994. Distribución y abundancia de larvas de langostino colorado *Pleuroncodes monodon* frente a la costa de Concepción, Chile. *Investigaciones Marinas* 22: 13-29.
- Ramirez M, S Massolo, R Frache & J Correa. 2005. Metal speciation and environmental impact on sandy beaches due to El Salvador copper mine, Chile. *Marine Pollution Bulletin* 50: 62-72.
- Rozbacylo, N. 2007. Clave para las familias de Polychaeta. Clave traducida por N. Rozbacylo de: Glasby, C.J. & K. Fauchald. 2000. Clave para las familias de Polychaeta. Pp. 53-61 In Beesley, P.L., Ross, G.J.B. & Glasby, C.J. (Eds) *Polychaetes & Allies: The Southern Synthesis*.

Fauna of Australia. Vol. 4^a Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. Csiro Publishing: Melbourne XII. 465 Pp.

- Rozbacylo, N., Moreno, R., & Díaz-Díaz, O. 2017. Poliquetos Bentónicos en Chile. 51-70. En: Díaz-Díaz, O., D. Bone, C.T. Rodríguez & V.H. Delgado-Blas (Eds.) 2017. Poliquetos de Sudamérica. Volumen especial del Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Cumaná, Venezuela, 149pp.
- Rozbacylo, N. 1980. Clave para el reconocimiento de familias de anélidos poliquetos del mar chileno. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 15(1980). Pp. 167-196.
- Salamanca M.A., L. Chuecas & F. Carrasco., (1988). Heavy metal content and distribution in surface sediments from three areas of Chilean coast. *Gayana. Miscelánea*, 9(1-4), 3-16.
- SERPLAC. 1980 Evaluación del grado de contaminación del litoral de la VIII Región de Chile. Convenio Universidad de Concepción/SERPLAC VIII Región. Documento xerocopiado. Chile 254 p.
- Universidad de Valparaíso, 1987. Estudio básico para evaluar la presencia de metales pesados en agua, sedimentos y organismos marinos en la V Región de Chile. Chile. 41 p.
- Valdés, J. (2004). Evaluación de metales redox-sensitivos como proxies de paleoxigenación en un ambiente marino hipóxico del norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77(1), 121–138. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2004000100010>.
- Valdés, J., & Sifeddine, A. (2009). Composición elemental y contenido de metales en sedimentos marinos de la bahía Mejillones del Sur, Chile: Evaluación ambiental de la zona costera. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 37(2), 131–141. <https://doi.org/10.3856/vol37-issue2-fulltext-2>.
- Valdés, J., Vargas, G., Sifeddine, A., Ortlieb, L., & Guiñez, M. (2005). Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23°S), Northern Chile: Geochemical and statistical approach. *Marine Pollution Bulletin*, 50(12), 1558–1568. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.06.024>.
- Wickham, H., 2016. *Ggplot2: Elegant graphics for data analysis* (2nd ed.) [PDF]. Springer International Publishing.
- Wilke, C.O., Wickham, H., & Wilke, M. C. O. (2019). Package 'cowplot'. Streamlined Plot Theme and Plot Annotations for 'ggplot2'.
- Yannicelli B., L. Castro, A. Valle-Levinson, L. Atkinson y D. Figueroa. 2006. Vertical distribution of decapod larvae in the entrance of an equatorward facing bay of central Chile: implications for transport. *Journal of Plankton Research* 28: 19-37.

- Yannicelli B., L. R. Castro, W. Schneider y M. Sobarzo. 2005. Crustacean larvae distribution in the coastal upwelling zone off central Chile. *Marine Ecology Progress Series* 319: 175–189.
- Ya-Wei Xie, Lu-Jun Chen, Rui Liu b, Jin-Ping Tian. 2018. AOX contamination in Hangzhou Bay, China: Levels, distribution and point sources. *Environmental Pollution* Volume 235, 462-469.

8 CARTA GANTT

Actividades	2021					2022											
	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
OBJETIVO ESPECIFICO A																	
Reunión de coordinación con contraparte técnica	1																
Solicitud de permisos	1																
Formato de entrega de base de datos	1																
Ejecución campañas de monitoreo			1			1						1					
Análisis de laboratorio			1	1		1	1					1	1				
Elaboración de bases de datos				1			1						1				
Análisis crítico de la información recopilada													1	1			
OBJETIVO ESPECIFICO B																	
Propuesta de optimización del monitoreo del GA														1	1		
OBJETIVO ESPECIFICO C																	
Taller de trabajo con contraparte técnica																1	
Presentación de resultados al CRAS																1	
INFORMES																	
Entrega Informe 1			1														
Entrega Informe 2									1								
Entrega Informe Final																1	
Término de Contrato																	1

Recuadros en azul son las actividades y compromisos realizados, en gris actividades en ejecución.

9 ANEXOS

1. Permiso de Pesca de Investigación a la Universidad de Concepción, R. EX. N° E-2021-545 con fecha 28/09/20221. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

2. Autorización del Servicio hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, SHOA ORDINARIO N° 13270/24/1322 con fecha 13/09/2021, que Autoriza a la Universidad de Concepción, para realizar Actividades de Investigación Tecnológica Marina en la Región del Biobío.

3. Certificados de laboratorio Campaña 01

4. Certificados de laboratorio Campaña 02

5. Certificados de laboratorio Campaña 03