



# **INFORME FINAL**

## **Análisis de información de monitoreos ambientales en humedales costeros**

Proyecto GEFSEC ID: 9766 “Promoviendo la conservación y el manejo sostenible de los humedales costeros y sus cuencas aportantes, a través de la mejora en la gestión y planificación de los ecosistemas de borde costero de la zona centro sur de Chile, hotspot de biodiversidad”

**Requirente: Ministerio de Medio Ambiente**

Concepción, noviembre de 2024

## EQUIPO DE TRABAJO

<b>Aldo Hernández</b>	Jefe de Proyecto	<i>Biólogo Marino Dr. Manejo Recursos Acuáticos Renovables</i>	<i>Dirección de proyecto, edición y revisión de informe</i>
<b>Fanny Araya</b>	Coordinación de Proyecto	<i>Ingeniera Ambiental, Máster en Agroecología</i>	<i>Coordinación general, sistematización de bases de datos, elaboración de informe</i>
<b>Oscar Inostroza</b>	Análisis de datos	<i>Biólogo, Dr. En Sistemática y Biodiversidad</i>	<i>Manejo de bases de datos, análisis estadísticos y redacción de informe</i>
<b>Daniela Henríquez</b>	Investigadora	<i>Bióloga Marina MSc. mención Oceanografía</i>	<i>Coordinación general, elaboración de informe</i>

MMA-ONU Medio Ambiente. 2024. Informe Final: Análisis información de monitoreos ambientales en humedales costeros. Elaborado por Holon SpA. Proyecto GEF/SEC ID: 9766 “Conservación de humedales costeros de la zona centro-sur de Chile”. Ministerio del Medio Ambiente. Concepción, Chile. 267 pp.

## RESUMEN EJECUTIVO

En el marco del proyecto GEFSEC ID: 9766 “Promoviendo la conservación y el manejo sostenible de los humedales costeros y sus cuencas aportantes, a través de la mejora en la gestión y planificación de los ecosistemas de borde costero de la zona centro-sur de Chile, *hotspot* de biodiversidad”, se han implementado programas de monitoreo en cinco humedales costeros piloto (Elqui, Mantagua, Cáhuil, Rocuant-Andalién y Queule) para evaluar sus condiciones ambientales.

Uno de los objetivos del Proyecto GEF Humedales Costeros indica que se deberán “Integrar los datos de seguimiento del Ministerio del Medio Ambiente, así como los datos de otras plataformas que monitorean los humedales, para poner a disposición un sistema de información centralizado”. En ese sentido, el equipo consultor Holon SpA. se adjudicó la presente consultoría orientada a recopilar, sistematizar y analizar los datos de monitoreo ambiental levantados en cinco ecosistemas pilotos, para integrar la información, definir el estado ambiental de estos ecosistemas y entregar recomendaciones relacionadas con los programas de monitoreo.

El alcance del proyecto incluye varias fases críticas que abarcan desde la recopilación y sistematización de datos de los humedales pilotos, integración de la data al Sistema Red de Monitoreo de Sistemas acuáticos del Ministerio de Medio Ambiente, análisis estadísticos de la información orientados a dar respuesta a preguntas de investigación relacionadas al estado ambiental y variabilidad de estos ecosistemas, hasta la propuesta de recomendaciones que contribuyan a la continuidad de las acciones de monitoreo.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>II</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3 MATERIALES Y MÉTODO .....</b>	<b>4</b>
3.1 SISTEMATIZACIÓN DE BASES DE DATOS AL SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL.....	4
3.2 CARGA DE BASES DATOS AL SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL.....	7
3.3 LEVANTAMIENTO DE ENFOQUES DE INVESTIGACIÓN PARTICIPATIVOS .....	7
3.4 CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES .....	8
3.5 PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	8
3.5.1 Análisis de Calidad de agua.....	8
3.5.2 Análisis de Biota .....	10
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>12</b>
4.1 CARGA DE BASES DATOS AL SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL.....	12
4.2 LEVANTAMIENTO DE ENFOQUES DE INVESTIGACIÓN PARTICIPATIVOS .....	13
4.3 CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES PILOTO .....	15
4.4 HUMEDAL RÍO ELQUI .....	34
4.4.1 Calidad de agua parámetros <i>in situ</i> .....	35
4.4.2 Calidad de agua parámetros de laboratorio .....	48
4.4.3 Biota.....	64
4.5 HUMEDAL MANTAGUA.....	88
4.5.1 Calidad de agua parámetros <i>in situ</i> .....	89
4.5.2 Biota.....	101
4.6 HUMEDAL CÁHUIL.....	129
4.6.1 Calidad de agua parámetros <i>in situ</i> .....	130
4.6.2 Biota.....	142
4.7 HUMEDAL ROCUANT-ANDALIÉN.....	172
4.7.1 Calidad de agua parámetros <i>in situ</i> .....	173
4.7.2 Biota.....	185
4.8 HUMEDAL DEL RÍO QUEULE .....	201
4.8.1 Calidad de agua parámetros <i>in situ</i> .....	202
4.8.2 Biota.....	213

## 5 RECOMENDACIONES PARA LA CONTINUIDAD DE LAS ACCIONES DE MONITOREO

251

5.1	OPTIMIZACIÓN DEL ESFUERZO DE MONITOREO.....	251
5.2	MANTENIMIENTO Y CAPACITACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN .....	252
5.3	ESTANDARIZACIÓN DE PROTOCOLOS DE MONITOREOS .....	252
5.4	REGISTRO DE METADATOS.....	253
5.5	AMPLIACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA .....	254
5.6	MONITOREO DE GRUPOS BIOLÓGICOS .....	255
5.7	IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES DE ÉXITO PARA LA GESTIÓN ADAPTATIVA.....	255
<b>6</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>256</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>258</b>
7.1	HUMEDAL DESEMBOCADURA RÍO ELQUI.....	258
7.2	HUMEDAL MANTAGUA.....	259
7.3	HUMEDAL CÁHUIL.....	261
7.4	HUMEDAL ROCUANT ANDALIÉN .....	262
7.5	HUMEDAL QUEULE .....	264
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>265</b>

## INDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Información de entrada datos de calidad de agua al Sistema Red Monitoreo Ecosistemas Acuáticos. Elaboración propia..... 5

**Tabla 2.** Información de entrada datos de biota al Sistema Red Monitoreo Ecosistemas Acuáticos. Elaboración propia. .... 6

**Tabla 3.** Estado de la carga de datos de calidad de agua al Sistema Red Monitoreo Ecosistemas Acuáticos. Elaboración propia..... 12

**Tabla 4.** Estado de la carga de datos de biota al Sistema Red Monitoreo Ecosistemas Acuáticos. Elaboración propia. .... 12

**Tabla 5.** Enfoques de investigación particulares de cada ecosistema piloto. Elaboración propia. .... 14

**Tabla 6.** Estadística descriptiva para parámetros físico-químicos medidos en columna de agua. Nobs: número de observaciones, min =mínimo, max =máximo, prom =promedio, desvest =desviación estándar, cv%=coeficiente de variación, shapiro-wilk = estadístico W de la prueba Shapiro-Wilk, valor-p = valor-p de la prueba Shapiro-Wilk. CE: Conductividad Eléctica; OD: Oxígeno disuelto; OD Sat: Saturación oxígeno disuelto; SDT: Sólidos Disueltos Totales; Sal: Salinidad; T: Temperatura. Elaboración propia. .... 35

**Tabla 7.** Estadística descriptiva para parámetros de laboratorio medidos en columna de agua. Nobs: número de observaciones, min =mínimo, max =máximo, prom =promedio, desvest =desviación estándar, cv% =coeficiente de variación, shapiro-wilk = estadístico W de la prueba Shapiro-Wilk, valor-p = valor-p de la prueba Shapiro-Wilk. Elaboración propia. .... 48

**Tabla 8.** Tabla con la abundancia de especies de anfibios. Elaboración propia. .... 75

**Tabla 9.** Tabla con la abundancia de especies de ictiofauna. Elaboración propia. .... 76

**Tabla 10.** Tabla con la abundancia de especies de quirópteros. Elaboración propia. .... 77

**Tabla 11.** Estadística descriptiva para parámetros físico-químicos medidos en columna de agua. Nobs: número de observaciones, min =mínimo, max =máximo, prom =promedio, desvest =desviación estándar, cv% =coeficiente de variación, shapiro-wilk = estadístico W de la prueba Shapiro-Wilk, valor-p = valor-p de la prueba Shapiro-Wilk. CE: Conductividad Eléctrica; OD: Oxígeno disuelto; OD Sat: Saturación oxígeno disuelto; SDT: Sólidos Disueltos Totales; Sal: Salinidad; T: Temperatura. Elaboración propia. .... 89

**Tabla 12.** Estadística descriptiva para parámetros físico-químicos medidos en columna de agua. Nobs: número de observaciones, min =mínimo, max =máximo, prom =promedio, desvest =desviación estándar, cv% =coeficiente de variación, shapiro-wilk = estadístico W de la prueba Shapiro-Wilk, valor-p = valor-p de la prueba Shapiro-Wilk. CE: Conductividad Eléctrica; OD: Oxígeno disuelto; OD Sat: Saturación oxígeno disuelto; SDT: Sólidos Disueltos Totales; Sal: Salinidad; T: Temperatura. Elaboración propia. .... 130

**Tabla 13.** Estadística descriptiva para parámetros físicoquímicos medidos en columna de agua. Nobs: número de observaciones, min =mínimo, max =máximo, prom =promedio, desvest =desviación estándar, cv% =coeficiente de variación, shapiro-wilk = estadístico W de la prueba Shapiro-Wilk, valor-p = valor-p de la prueba Shapiro-Wilk. CE: Conductividad Eléctrica; OD: Oxígeno disuelto; OD Sat: Saturación oxígeno disuelto; SDT: Sólidos Disueltos Totales; Sal: Salinidad; T: Temperatura. Elaboración propia. .... 173

**Tabla 14.** Estadística descriptiva para parámetros físico-químicos medidos en columna de agua. Nobs: número de observaciones, min =mínimo, max =máximo, prom =promedio, desvest =desviación estándar, cv% =coeficiente de variación, Shapiro-Wilk = estadístico W de la prueba Shapiro-Wilk, valor-p = valor-p de la prueba Shapiro-Wilk. Elaboración propia. .... 202

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Estaciones de monitoreo ambiental del Humedal del Río Elqui. Polígono extraído del Expediente de Humedal Urbano N° HU-0085. Coordenadas en UTM. Datum WGS84, Huso 19H. Elaboración propia. .... 34
- Figura 2.** Conductividad Eléctrica (CE) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 38
- Figura 3.** Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. .... 39
- Figura 4.** Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD Sat) cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 40
- Figura 5.** Valor de pH cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 41
- Figura 6.** Salinidad (Sal) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 42
- Figura 7.** Concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 43
- Figura 8.** Temperatura (T) medida en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 44
- Figura 9.** Correlograma para los parámetros medidos en la columna de agua que mostraron coeficientes de variación mayores a 0%. Se muestran solo las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. La escala de colores indica el sentido y nivel de correlación (coeficiente de correlación de Spearman dentro de cada círculo). Valores de correlación positivos están representados por tonos azules, mientras valores negativos están reportado en tonos rojos. Elaboración propia. .... 45
- Figura 10.** Análisis de componentes principales (PCA) para los valores de los parámetros bajo el límite de detección de puntos atípicos. Las elipses representan el 95% de confianza para los puntajes agrupados por a) Año, b) Estación climática, y c) Cuenca. Sobre cada representación se entrega el

resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Elaboración propia..... 47

**Figura 11.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Arsénico total (As Tot), b) Plata total (Ag Tot), c) Boro total (B Tot), y d) Aluminio total (AlT). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 52

**Figura 12.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Calcio total (Ca Tot), b) Cloro (Cl), c) Cadmio total (Cd Tot), y d) Clorofila A (Clor A). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 53

**Figura 13.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Cianuro total (CN Tot), b) Coliformes fecales (Col Fec), c) Coliformes totales (Col Tot), y d) Cobalto total (Co Tot). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 54

**Figura 14.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Carbono Orgánico total (COT), b) Cobre total (Cu Tot), c) Cromo hexavalente (Cr(VI)), y d) Demanda bioquímica de oxígeno (DB05). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 55

**Figura 15.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Demanda química de oxígeno (DQO), b) Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>), c) Hierro total (Fe Tot), y d) Mercurio total (Hg Tot). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 56

**Figura 16.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Potasio total (K Tot), b) Manganeseo total (Mn Tot), c) Magnesio total (Mg Tot), y d) Molibdeno total (Mo Tot). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 57

**Figura 17.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Nitrógeno de nitrito (N-NO<sub>2</sub>), b) Nitritos (NO<sub>2</sub>), c) Nitrógeno de nitrato (N-NO<sub>3</sub>), y d) Nitratos (NO<sub>3</sub>). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 58

**Figura 18.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Nitrógeno total (NT), b) Sodio total (Na Tot), c) Nitrógeno total Kjeldahl (NTK), y d) Níquel total (Ni Tot). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 59

**Figura 19.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Plomo total (Pb Tot), b)

Fósforo total (PT), c) Fosfatos (PO<sub>4</sub>), y d) Selenio total (Se Tot). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 60

**Figura 20.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Sulfatos (SO<sub>4</sub>) y b) Zinc total (Zn Tot). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 61

**Figura 21,** Correlograma para los parámetros medidos en la columna de agua que mostraron coeficientes de variación mayores a 0%. Se muestran solo las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. La escala de colores indica el sentido y nivel de correlación (coeficiente de correlación de Spearman dentro de cada círculo). Valores de correlación positivos están representados por tonos azules, mientras valores negativos están reportado en tonos rojos. Elaboración propia. .... 62

**Figura 22.** Análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros de laboratorio medidos en la columna de agua a través de los sitios de monitoreo. Las elipses representan el 95% de confianza para los puntajes agrupados por: a) Año, b) Estación climática, y c) Cuenca. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Elaboración propia. .... 64

**Figura 23.** Densidad de individuos reconocidos a nivel de género de fitobentos por sitio de monitoreo para la campaña de verano del 2024. Dada la magnitud de la diferencia entre la densidad mínima y máxima registrada, se procedió a representar la densidad en unidades de log<sub>10</sub>. Elaboración propia. .... 65

**Figura 24.** Densidad de individuos reconocidos a nivel de género de fitobentos por Zona de Monitoreo para la campaña de verano del 2024. Dada la magnitud de la diferencia entre la densidad mínima y máxima registrada, se procedió a representar la densidad en unidades de log<sub>10</sub>. Elaboración propia. .... 66

**Figura 25.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de los géneros. Los puntajes están agrupados por Zona de Monitoreo. Sobre la representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Elaboración propia. .... 67

**Figura 26.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por Zona de Monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de taxones (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre zonas. Elaboración propia. .... 69

**Figura 27.** Numero de observaciones (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de familia de macroinvertebrados bentónicos por sitio de monitoreo para las campañas de primavera del 2022 y otoño del 2023. Elaboración propia. .... 70

**Figura 28.** Número de observaciones totales (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de familias de macroinvertebrados bentónicos por Zona de Monitoreo a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia. .... 71

**Figura 29.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las familias. En a) puntajes agrupados por Campaña y en b) por Zona de Monitoreo. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 72

**Figura 30.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de taxones (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las Zonas de Monitoreo. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 73

**Figura 31,** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por Zona de Monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de taxones (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .. 74

**Figura 32.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por año sitio y año de monitoreo. Elaboración propia. .... 79

**Figura 33.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por sitio de monitoreo y estaciones climáticas. Elaboración propia. .... 81

**Figura 34.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de aves por zona de monitoreo a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia. .... 82

**Figura 35.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Año, b) por Estación climática, y c) por Zona de Monitoreo. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .. 83

**Figura 36.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por año y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre los años. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 85

**Figura 37.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por estación climática y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las estaciones climáticas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 86

**Figura 38.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por zona de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado

de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .. 87

**Figura 39.** Estaciones de monitoreo ambiental del Humedal de Mantagua. Polígono extraído del Expediente de Humedal Urbano N°HU-0100, Coordenadas en UTM. Datum WGS84, Huso 19H. Elaboración propia. .... 88

**Figura 40.** Conductividad Eléctrica (CE) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 91

**Figura 41.** Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2020 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 92

**Figura 42.** Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD Sat) cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 93

**Figura 43.** Valor de pH cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2020 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 94

**Figura 44.** Salinidad (Sal) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2020 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 95

**Figura 45.** Concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 96

**Figura 46.** Temperatura (T) medida en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2020 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 97

**Figura 47.** Correlograma para los parámetros medidos en la columna de agua que mostraron coeficientes de variación mayores a 0%. Se muestran solo las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. La escala de colores indica el sentido y nivel de correlación (coeficiente de correlación de Spearman dentro de cada círculo). Valores de correlación positivos están representados por tonos azules, mientras valores negativos están reportado en tonos rojos. Elaboración propia..... 98

<b>Figura 48.</b> Análisis de componentes principales (PCA) para los valores de los parámetros bajo el límite de detección de puntos atípicos. Las elipses representan el 95% de confianza para los puntajes agrupados por a) Año, b) Estación climática, y c) Cuenca. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Elaboración propia.....	100
<b>Figura 49.</b> Número de observaciones (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de género de macroinvertebrados bentónicos por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia.....	102
<b>Figura 50.</b> Número de observaciones totales (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de género de macroinvertebrados bentónicos por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia. ....	103
<b>Figura 51.</b> Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de los géneros. En a) puntajes agrupados por Campaña y en b) por Cuenca. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Las zonas estuarinas, laguna independiente y fluvial se corresponden con las cuencas, por lo que el patrón detectado es el mismo independiente del nombre asignado a los sectores que agrupan las estaciones de monitoreo. Valores $p < 0,05$ son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. ....	104
<b>Figura 52.</b> Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores $p < 0,05$ son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. ....	106
<b>Figura 53.</b> Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores $p < 0,05$ son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. ....	107
<b>Figura 54.</b> Relación entre la diversidad (H) y la abundancia (N) de la fauna de macroinvertebrados bentónicos y los parámetros fisicoquímicos medidos: a) Conductividad eléctrica, b) Oxígeno disuelto, c) Saturación de oxígeno, d) Sólidos disueltos totales, e) Salinidad, f) Temperatura, y g) pH. Los colores de las líneas y etiquetas denotan las campañas de monitoreo. Los valores de $p < 0,05$ se consideran estadísticamente significativos. Elaboración propia. ....	109
<b>Figura 55.</b> Número de observaciones (Abundancia) de especies de ictiofauna por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia. ....	111
<b>Figura 56.</b> Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de ictiofauna por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.....	112
<b>Figura 57.</b> Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Campaña, en b) por Zona, y en c) por Hábitat. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba	

PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Elaboración propia. .... 113

**Figura 58.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 115

**Figura 59.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 116

**Figura 60.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 118

**Figura 61.** Relación entre la diversidad (H) y la abundancia (N) de la ictiofauna y los parámetros fisicoquímicos medidos: a) Conductividad eléctrica, b) Oxígeno disuelto, c) Saturación de oxígeno, d) Sólidos disueltos totales, e) Salinidad, f) Temperatura, y g) pH. Los colores de las líneas y etiquetas denotan las campañas de monitoreo. Los valores de  $p < 0,05$  se consideran estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 119

**Figura 62.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia. .... 121

**Figura 63.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de aves por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia. .... 122

**Figura 64.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Campaña y b) por Cuenca. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 123

**Figura 65.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 125

**Figura 66.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 126

**Figura 67.** Relación entre la diversidad (H) y la abundancia (N) de la avifauna y los parámetros fisicoquímicos medidos: a) Conductividad eléctrica, b) Oxígeno disuelto, c) Saturación de oxígeno, d) Sólidos disueltos totales, e) Salinidad, f) Temperatura, y g) pH. Los colores de las líneas y etiquetas denotan las campañas de monitoreo. Los valores de  $p < 0,05$  se consideran estadísticamente significativos. Elaboración propia..... 128

**Figura 68.** Estaciones de monitoreo ambiental del Humedal de Mantagua. Polígono extraído del Expediente de Humedal Urbano N° OF-06-1044. Coordenadas en UTM. Datum WGS84, Huso 19H. Elaboración propia. .... 129

**Figura 69.** Conductividad Eléctrica (CE) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 132

**Figura 70.** Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 133

**Figura 71.** Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD Sat) cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 134

**Figura 72.** Valor de pH cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 135

**Figura 73.** Salinidad (Sal) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 136

**Figura 74.** Concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 137

**Figura 75.** Temperatura (T) medida en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 138

**Figura 76.** Correlograma para los parámetros medidos en la columna de agua que mostraron coeficientes de variación mayores a 0%. Se muestran solo las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. La escala de colores indica el sentido y nivel de correlación (coeficiente de correlación de Spearman dentro de cada círculo). Valores de correlación

positivos están representados por tonos azules, mientras valores negativos están reportado en tonos rojos. Elaboración propia..... 139

**Figura 77.** Análisis de componentes principales (PCA) para el total de datos de los parámetros medidos. Las elipses representan el 95% de confianza para los puntajes agrupados por a) Año, b) Estación climática, c) Cuenca, y d) Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 141

**Figura 78.** Densidad de individuos reconocidos al nivel de género de macroinvertebrados bentónicos por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia..... 143

**Figura 79.** Densidad de individuos reconocidos al nivel de género de macroinvertebrados bentónicos por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia..... 144

**Figura 80.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de los géneros. En a) puntajes agrupados por: a) Campaña, b) Cuenca, y en c) por Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 145

**Figura 81.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 147

**Figura 82.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 149

**Figura 83.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por zona y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 150

**Figura 84.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de ictiofauna por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia. .... 152

**Figura 85.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de ictiofauna por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia..... 153

**Figura 86.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Campaña, en b) por Cuenca, y en c) por Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba

PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Elaboración propia. .... 154

**Figura 87.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 156

**Figura 88.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 158

**Figura 89.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Elaboración propia. .... 160

**Figura 90.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por año sitio y año de monitoreo. Elaboración propia. .... 162

**Figura 91.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por sitio de monitoreo y estaciones climáticas. Elaboración propia. .... 163

**Figura 92.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de aves por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia. .... 164

**Figura 93.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Año, b) por Estación climática, en c) por Cuenca, y en d) agrupados por Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 165

**Figura 94.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por año y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre los años. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 167

**Figura 95.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por estación climática y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las estaciones climáticas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 169

**Figura 96.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 170

**Figura 97.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por zona y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 171

**Figura 98.** Estaciones de monitoreo ambiental del Humedal Rocuant-Andalién. Polígono extraído del estudio “Definición de límites e identificación de áreas prioritarias a restaurar del Sistema Humedal Rocuant-Andalién-Vasco Da Gama-Paicaví-Tucapel Bajo, comunas de Concepción, Hualpén, Talcahuano y Penco, Región del Biobío”, URBANCOST (2021). Coordenadas en UTM. Datum WGS84, Huso 18H. Elaboración propia. .... 172

**Figura 99.** Conductividad Eléctrica (CE) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 176

**Figura 100.** Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 177

**Figura 101.** Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD Sat) cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 178

**Figura 102.** Valor de pH cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 179

**Figura 103.** Salinidad (Sal) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 180

**Figura 104.** Concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 181

**Figura 105.** Temperatura (T) medida en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por

meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 182

**Figura 106.** Correlograma para los parámetros medidos en la columna de agua que mostraron coeficientes de variación mayores a 0%. Se muestran solo las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. La escala de colores indica el sentido y nivel de correlación (coeficiente de correlación de Spearman dentro de cada círculo). Valores de correlación positivos están representados por tonos azules, mientras valores negativos están reportado en tonos rojos. Elaboración propia..... 183

**Figura 107.** Análisis de componentes principales (PCA) para el total de los parámetros medidos. Las elipses representan el 95% de confianza para los puntajes agrupados por: a) Estación climática y b) Cuenca. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia..... 184

**Figura 108.** Número de observaciones (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de género de macroinvertebrados bentónicos por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia..... 185

**Figura 109.** Número de observaciones totales (Abundancia) de individuos reconocidos al nivel de género de la fauna macroinvertebrados bentónicos por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia. .... 186

**Figura 110.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de los géneros. En a) puntajes agrupados por Campaña y en b) por Cuenca. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  se consideran estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 187

**Figura 111.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 189

**Figura 112.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 191

**Figura 113.** Presencia de especies de peces por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia. .... 193

**Figura 114.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia. .... 195

**Figura 115.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de aves por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia..... 196

**Figura 116.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Campaña y en b) por Cuencas. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados como estadísticamente significativos. Elaboración propia..... 197

**Figura 117.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores  $p < 0,05$  son considerados como estadísticamente significativos. Elaboración propia..... 199

**Figura 118.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia..... 200

**Figura 119.** Estaciones de monitoreo ambiental del Humedal del Río Queule. Polígono extraído de “Plan de Gestión Integral para la cuenca del río Queule y sus humedales en la comuna de Toltén”, MMA-ONU Medio Ambiente. 2022. Coordenadas en UTM. Datum WGS84, Huso 18H. Elaboración propia..... 201

**Figura 120.** Conductividad Eléctrica (CE) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 204

**Figura 121.** Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 205

**Figura 122.** Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD Sat) cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 206

**Figura 123.** Valor de pH cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 207

**Figura 124.** Concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia. .... 208

**Figura 125.** Temperatura (T) medida en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia..... 209

**Figura 126.** Correlograma para los parámetros medidos en la columna de agua que mostraron coeficientes de variación mayores a 0%. Se muestran solo las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. La escala de colores indica el sentido y nivel de correlación (coeficiente de correlación de Spearman dentro de cada círculo). Valores de correlación positivos están representados por tonos azules, mientras valores negativos están reportado en tonos rojos. Elaboración propia..... 210

**Figura 127.** Análisis de componentes principales (PCA) para el total de datos de los parámetros medidos. Las elipses representan el 95% de confianza para los puntajes agrupados por a) Año, b) Estación climática, c) Cuenca, y d) Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 212

**Figura 128.** Número de observaciones (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de familia de macroinvertebrados bentónicos por sitio y año de monitoreo. Elaboración propia..... 213

**Figura 129.** Número de observaciones (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de familia de macroinvertebrados bentónicos por sitio y estación climática de monitoreo. Elaboración propia. ... 214

**Figura 130.** Número de observaciones (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de familia de macroinvertebrados bentónicos por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia..... 215

**Figura 131.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las familias. En a) puntajes agrupados por Año, b) por Estación climática, en c) por Cuenca, y en d) agrupados por Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia..... 216

**Figura 132.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por año y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de familias (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre los años. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 218

**Figura 133.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por estación climática y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las estaciones climáticas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 220

**Figura 134.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de

Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 222

**Figura 135.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por zona y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 223

**Figura 136.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de peces por sitio de monitoreo y estaciones climáticas. Elaboración propia. .... 225

**Figura 137.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de peces por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia. .... 226

**Figura 138.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Año, b) por Estación climática, en c) por Cuenca, y en d) agrupados por Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 228

**Figura 139.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por año y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre los años. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 230

**Figura 140.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por estación climática y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las estaciones climáticas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 232

**Figura 141.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 234

**Figura 142.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por zona y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 236

**Figura 143.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por año sitio y año de monitoreo. Elaboración propia. .... 238

**Figura 144.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por sitio de monitoreo y estaciones climáticas. Elaboración propia. .... 239

**Figura 145.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de aves por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia..... 240

**Figura 146.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Año, b) por Estación climática, en c) por Cuenca, y en d) agrupados por Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia..... 242

**Figura 147.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por año y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre los años. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 244

**Figura 148.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por estación climática y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las estaciones climáticas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 246

**Figura 149.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 248

**Figura 150.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por zona y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia. .... 250

# 1 INTRODUCCIÓN

Los humedales costeros son ecosistemas dinámicos y complejos, que desempeñan un papel crucial en la preservación de la biodiversidad y en la regulación de los ciclos hidrológicos y climáticos. Estos ecosistemas se caracterizan por una alta heterogeneidad espacio-temporal, producto de la interacción entre flujos de agua dulce y salada, así como por la variabilidad en las pendientes y la disponibilidad de hábitats. La combinación de estos factores crea entornos ricos en biodiversidad a través de una red de interdependencias biofísicas (Wang et al, 2008; Figueroa et al, 2009), particularmente en especies de aves migratorias, que encuentran en estos humedales áreas críticas para su reproducción, alimentación y descanso. Además, los humedales costeros desempeñan un papel crucial en el equilibrio ecológico y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales (Mitsch & Gosselink, 2000; Xu et al, 2019), contribuyendo a la mitigación de desastres naturales, como inundaciones y tormentas, y actúan como filtros naturales, mejorando la calidad del agua. No obstante, estos ecosistemas se enfrentan a múltiples amenazas, incluyendo la presión del desarrollo urbano, la contaminación, y el cambio climático, lo que subraya la urgencia de implementar estrategias eficaces para su conservación y manejo sostenible.

La variabilidad espacio-temporal de los humedales exige la implementación de estrategias adecuadas para su monitoreo ambiental a lo largo del tiempo (Abarca, 2007), lo cual implica la recopilación, análisis e interpretación de datos fisicoquímicos y biológicos a largo plazo, con el objetivo de comprender las dinámicas de los humedales, identificar cambios y tendencias, y desarrollar acciones de conservación que permitan la gestión efectiva de estos ecosistemas (Xu et al, 2019).

En respuesta a las crecientes amenazas sobre los humedales costeros, el Ministerio del Medio Ambiente, con el apoyo de Global Environment Facility (GEF), ha puesto en marcha el proyecto GEFSEC ID: 9766 “Promoviendo la conservación y el manejo sostenible de los humedales costeros y sus cuencas aportantes, a través de la mejora en la gestión y planificación de los ecosistemas de borde costero de la zona centro-sur de Chile, hotspot de biodiversidad”, el cual tiene como objetivo principal mejorar la condición ecológica y el grado de conservación de cinco ecosistemas costeros en la zona centro-sur de Chile: Humedal del río Elqui, Humedal de Mantagua, Humedal Laguna de Cahuil, Humedal Rocuant-Andalién-Vasco Da Gama-Paicaví Tucapel Bajo (Sistema Humedal Rocuant-Andalién), y Humedal del río Queule.

A través de la implementación de medidas de protección y restauración, el proyecto busca reducir las presiones sobre estos ecosistemas, integrando sus cuencas asociadas en esfuerzos de desarrollo local sostenible. Los humedales costeros pilotos seleccionados representan una diversidad de condiciones socio-ambientales, y en ellos se destinan esfuerzos para generar los datos y evidencias necesarias para demostrar la efectividad de un enfoque integral que considera la totalidad de la cuenca en la gestión y conservación de los paisajes costeros, generando información ambiental que permite caracterizar desde el punto de vista químico, físico y ecológico los sistemas acuáticos pilotos del proyecto (Ibarra et al, 2002). A través de esta información, se busca proporcionar una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de prácticas de gestión adaptativa que protejan y mantengan la integridad ecológica de estos humedales costeros a largo plazo.

El presente estudio tiene como objetivo recopilar, sistematizar y analizar la información de monitoreo ambiental ejecutada por el proyecto GEF Humedales Costeros. Mediante la integración de estos datos, se busca definir el estado ambiental de los humedales costeros y ofrecer recomendaciones para la continuidad de las acciones de monitoreo. La estandarización y centralización de la información obtenida permitirá no solo evaluar con mayor precisión el estado de estos ecosistemas, sino también mejorar la comparación y fiabilidad de los datos, e integrar la información en una red cohesiva de monitoreo de ecosistemas acuáticos, facilitando su uso en la formulación de políticas y estrategias de conservación efectivas. Este esfuerzo es crucial para asegurar la sostenibilidad a largo plazo de los humedales costeros, contribuyendo a su protección y al mantenimiento de su integridad ecológica en un contexto de creciente presión ambiental.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Recopilar, sistematizar y analizar la información de monitoreo ambiental ejecutada por el proyecto GEF Humedales Costeros para integrar la información, definir el estado ambiental de estos ecosistemas y entregar recomendaciones para la continuidad de las acciones de monitoreo.

### **2.2 Objetivos Específicos**

1. Recopilar y sistematizar la información de monitoreo ambiental ejecutado por el proyecto GEF Humedales Costeros para integrarla a la plataforma de monitoreo del MMA.
2. Revisar la data de monitoreo y realizar análisis estadísticos que determinen el estado ambiental de los humedales pilotos del Proyecto GEF Humedales Costeros, estableciendo una línea de base de ecosistemas acuáticos y análisis de las tendencias.
3. Proponer recomendaciones para la continuidad de las acciones de monitoreo en estos humedales piloto en base a los resultados obtenidos en las etapas previas del estudio considerando las capacidades presupuestarias y los mandatos legales para asumir dichas funciones por parte de instituciones públicas u otros actores del territorio y proponer recomendaciones a los programas de monitoreo de humedales costeros que sean replicables a escala nacional.

### 3 MATERIALES Y MÉTODO

#### 3.1 Sistematización de bases de datos al sistema de información ambiental

El Proyecto GEF Humedales Costeros es una iniciativa liderada por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) de Chile, cuyo objetivo principal es la conservación y gestión sostenible de cinco humedales costeros ubicados en la zona centro-sur del país. Estos ecosistemas piloto fueron seleccionados por su importancia ecológica, socioeconómica y su vulnerabilidad a las amenazas ambientales:

- i) Humedal del Río Elqui, Comuna de La Serena, Región de Coquimbo
- ii) Humedal de Mantagua, Comuna de Quintero, Región de Valparaíso
- iii) Humedal Laguna de Cáhuil, Comuna de Pichilemu, Región del Libertador Bernardo O'Higgins
- iv) Humedal Sistema Rocuant-Andalién, Comunas de Concepción, Penco, Talcahuano y Hualpén, Región del Biobío
- v) Humedal del Río Queule, Comuna de Toltén, Región de La Araucanía

Dentro de las actividades del proyecto se encuentra la evaluación de las condiciones ambientales de los cinco humedales costeros a través del monitoreo permanente que incluye el monitoreo del medio biótico y abiótico, para diversos subcomponentes ambientales. Cada uno de los cinco ecosistemas piloto cuenta con coordinadores locales encargados de recopilar y gestionar la información, generando bases de datos ambientales con los registros de calidad de agua y biodiversidad.

La metodología aplicada para la sistematización de las bases de datos ambientales de los humedales piloto involucró varias etapas claves que se desarrollaron con el objetivo de organizar y homogenizar la información proveniente de los monitoreos ambientales.

##### *i) Recepción de la información*

En una primera instancia, los coordinadores locales de cada humedal piloto fueron los responsables de entregar los datos recopilados a lo largo de los monitoreos ambientales. La entrega inicial de los datos se realizó el 30 de mayo de 2024, en formato digital, específicamente en documentos Excel, que contenían información parcializada, es decir, con estructuras de datos variadas según el origen. Además de las bases de datos, se acompañó la información con informes de campaña, que proporcionan detalles adicionales sobre los resultados obtenidos durante cada una de las campañas de monitoreo.

*ii) Análisis preliminar de la información*

Una vez recibida la información, se procedió a revisar y analizar los datos, e incluyó la identificación de inconsistencias en algunos pilotos en cuanto a formatos, frecuencia de monitoreo, nombres de estaciones de monitoreo, cantidad de campañas de monitoreo, variables medidas, unidades de medida y estructuras de los datos, que variaban según el ecosistema piloto. Asimismo, se realizó una revisión exhaustiva de los informes de campaña de cada humedal piloto para garantizar la consistencia entre la información y que pudiesen complementar las bases de datos.

*iii) Estandarización de bases de datos*

La estandarización de las bases de datos para cada ecosistema piloto fue realizada a partir de los formatos del Sistema Red Monitoreo Ecosistemas Acuáticos (<https://datosagua.mma.gob.cl/>), que corresponde a una plataforma de integración de información ambiental del Ministerio del Medio Ambiente, y que tiene como propósito brindar acceso libre a información sobre la diversidad biológica y calidad de agua de los ecosistemas acuáticos del territorio nacional. La data ambiental fue organizada y sistematizada utilizando hojas de cálculo en Excel (**Anexo Digital 01**), e incluyó la información de entrada detallada en las **Tabla 1** y **Tabla 2** para los componentes de calidad de agua y biota.

**Tabla 1.** Información de entrada datos de calidad de agua al Sistema Red Monitoreo Ecosistemas Acuáticos. Elaboración propia.

Campo de entrada	Descripción
Estación	Nombre estación monitoreo
Tipo Muestra	Original o réplica
Fecha Muestra	Fecha levantamiento información
Hora Muestra	Hora levantamiento información
Profundidad	Profundidad levantamiento información
Profundidad Textual	Unidad de medida
Matriz	Matriz de monitoreo ambiental
Param_Code	Código parámetro
PAR_Unidad	Unidad de medida
Límite Detección	Límite detección técnica analítica laboratorio
Límite Cuantificación	Límite cuantificación técnica analítica laboratorio
Nombre Eº Laboratorio	Nombre laboratorio
Metodología Análisis	Técnica analítica laboratorio
Nombre Eº Monitoreo	Nombre entidad de monitoreo

Campo de entrada	Descripción
Metodología Monitoreo	Técnica de monitoreo
Tipo de Monitoreo	Monitoreo puntual o compuesto
Donde Se Mide	Terreno o Laboratorio
MED_Indicador	Indicador de medición ( =, <, >)
MED_Valor	Valor de medición parámetro

**Tabla 2.** Información de entrada datos de biota al Sistema Red Monitoreo Ecosistemas Acuáticos. Elaboración propia.

Campo de entrada	Descripción
eventID	Evento campaña monitoreo
EST_Código	Nombre estación monitoreo
samplingProtocol	Técnica de monitoreo
samplingEffort	Esfuerzo de monitoreo
sampleSizeValue	Medición esfuerzo monitoreo
sampleSizeUnit	Unidad
eventDate	Fecha levantamiento información
eventTime	Hora levantamiento información
verbatimEventDate	Identificación campaña monitoreo
habitat	Hábitat
fieldNotes	Notas de campo
occurrenceID	ID ocurrencia observación
basisOfRecord	Tipo de registro
individualCount	Cantidad de registros
occurrenceStatus	Estado del registro
taxonRank	Nivel taxonómico
scientificName	Nombre científico
SampledBy	Observado por
IdentifiedBy	Identificado por
AdditionalRemarks	Observaciones adicionales

En el proceso de sistematización de la información biológica se realizó un proceso de revisión taxonómica que permitió verificar la correspondencia de los datos biológicos con las listas de especies predefinidas, asegurando que la información cargada mantuviera un formato y estructura consistentes.

En primer lugar, se realizó una revisión exhaustiva de las Listas de Referencias disponibles en la plataforma del Sistema Red de Monitoreo de Ecosistemas Acuáticos, la cual se encuentra alineada con el listado de especies registrado en la plataforma del Sistema de Información y Monitoreo de Biodiversidad (SIMBIO) del MMA. Este listado nacional proporciona una referencia para las especies que potencialmente habitan en Chile y sus ecosistemas acuáticos. Sin embargo, debido a que el listado de SIMBIO presenta un alcance limitado, con información restringida en cuanto a la sistematización taxonómica, para los posteriores análisis estadísticos, se procedió a una homologación taxonómica utilizando la base de datos internacional de *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), que ofrece un sistema más detallado y ampliamente aceptado a nivel mundial. Esta homologación con GBIF permitió mantener un nivel taxonómico preciso y detallado en los monitoreos ambientales, respetando la clasificación original y garantizando la coherencia con los estándares internacionales.

### **3.2 Carga de bases datos al sistema de información ambiental**

Previo a proceder con la carga de datos, se realizaron reuniones de coordinación entre el equipo técnico desarrollador de la plataforma de monitoreo, con el objetivo de ajustar los detalles técnicos y formatos de la información de entrada a los requerimientos específicos de la plataforma. Durante estas reuniones, se abordaron aspectos como la estructura de los archivos, el formato adecuado de las variables, los campos obligatorios y la separación de los datos entre los diferentes subcomponentes ambientales.

### **3.3 Levantamiento de enfoques de investigación participativos**

La propuesta metodológica para el análisis estadístico de la información recopilada en los monitoreos ambientales de calidad de agua y biota en cinco ecosistemas piloto fue realizada a partir del diagnóstico de las bases de datos, para evaluar las tendencias y patrones, e identificar y corregir datos atípicos o faltantes, detectando posibles problemas ambientales y generar información relevante para la gestión y conservación de los humedales costeros. Estos análisis fueron alineados con los intereses particulares de cada ecosistema piloto, desarrollando una

revisión conjunta de la propuesta metodológica con los coordinadores locales del Proyecto GEF Humedales Costeros.

### **3.4 Caracterización de humedales**

La metodología utilizada para la caracterización de los cinco humedales piloto del proyecto GEF Humedales Costeros se basó en una revisión bibliográfica exhaustiva de fuentes oficiales, que sirvió como punto de partida para obtener información clave, permitiendo obtener una visión integral del estado actual de los humedales, e identificando tanto sus valores ecológicos como las amenazas y usos humanos que impactan su conservación.

El proceso de caracterización siguió el enfoque de Áreas de Alto Valor de Conservación (AAVC) propuesto por *Forest Stewardship Council (FSC)*, que involucra la recopilación de datos estructurados en fichas, abarcando varios aspectos esenciales para la conservación de ecosistemas. Estos aspectos incluyen los valores o atributos de conservación, ubicación geográfica, amenazas, acciones de manejo, documentación asociada, partes interesadas, actividades de monitoreo, y responsables.

Adicionalmente, se incorporó información relacionada con los usos antropogénicos, con el objetivo de analizar las interacciones entre las actividades humanas y los ecosistemas relevantes de los humedales. Esta información fue obtenida principalmente de los expedientes de Humedales Urbanos, en aquellos casos en los que el humedal ha sido registrado formalmente en el Sistema Nacional de Humedales Urbanos. Para los humedales no registrados, se recurrió a los informes de consultorías que tratan sobre la delimitación de estos ecosistemas.

### **3.5 Procesamiento de datos y análisis de la información**

#### **3.5.1 Análisis de Calidad de agua**

En primer lugar, y luego del proceso de sistematización y homogeneización de los datos, se evaluó la presencia de valores atípicos en el/los conjuntos de datos. Este paso es importante ya que los valores atípicos pueden distorsionar significativamente los resultados de los análisis estadísticos. La presencia de valores extremadamente altos o bajos puede influir en medidas descriptivas como la media, la desviación estándar y los coeficientes de correlación, llevando a interpretaciones erróneas. Para esto, se utilizó el "método del percentil" en el cual se emplean los percentiles para definir un rango de valores esperados. Los valores que se encuentren fuera del

rango definido por el percentil 25 menos 1.5 veces el rango intercuartílico (IQR) y el percentil 75 más 1.5 veces el IQR serán considerados valores atípicos.

Una vez realizada la evaluación de los potenciales valores atípicos presentes en el/los conjuntos de datos, y corrigiéndolos o eliminándolos en caso de ser necesario (ver **Anexo Digital 03**), se procedió a realizar un análisis de estadística descriptiva, mediante la estimación y visualización de estadísticos de tendencia central, dispersión y normalidad de los datos, entre otros. Complementariamente, se representaron gráficamente los niveles o concentración de los distintos parámetros a lo largo de todas las estaciones y campañas de monitoreo. Además, se exploró la correlación entre los distintos parámetros mediante un correlograma, utilizando el coeficiente de correlación de Spearman y estimando su significancia estadística con un nivel de confianza del 95%.

Para evaluar la existencia de patrones espacio-temporales en las concentraciones de los parámetros, se seleccionaron las variables mediante modelos lineales generalizados (GLM). Estos modelos permiten que los errores sean modelados por distribuciones distintas a la normal (e.g., binomial, Poisson, gamma) y son útiles cuando las suposiciones de los modelos lineales tradicionales no se cumplen, como la relación lineal entre variables, normalidad, homocedasticidad e independencia de errores (Nelder & Wedderburn, 1972). Los modelos fueron ajustados para cada parámetro, considerando como variable de respuesta la concentración del parámetro y como variables predictoras las zonas y campañas de monitoreo, de forma independiente. Finalmente, se seleccionaron los parámetros cuyos valores de significancia (valores-p) para un predictor determinado fueron menores a 0,05. Sobre las variables seleccionadas se realizó un análisis de componentes principales (PCA). El PCA reduce la dimensionalidad del conjunto de datos, reteniendo la mayor proporción de la variabilidad mediante la generación de componentes ortogonales no correlacionadas entre sí (Jolliffe, 2002). Esto proporciona una medida de la varianza explicada por cada componente multivariada (valores propios) y una medida de la correlación o covarianza entre cada variable de entrada y la componente resultante (Cayuela, 2011). Adicionalmente, para evaluar diferencias significativas en la concentración de los parámetros entre las distintas zonas o campañas de monitoreo, se realizó un análisis de varianza permutacional multivariante (PERMANOVA). Este método es útil para datos multivariados no paramétricos y evalúa si hay diferencias significativas entre grupos mediante un proceso de permutación (Anderson, 2001).

### 3.5.2 Análisis de Biota

El procesamiento de los datos de monitoreo de biota abarca los grupos biológicos de avifauna, ictiofauna, macroinvertebrados bentónicos, fitobentos, quirópteros, anfibios, y reptiles, según la información disponible para cada humedal piloto, para los cuales se procederá a determinar la composición de especies o, en su defecto, grupos taxonómicos, organizados por estación de monitoreo. Además, se calcularán los descriptores comunitarios, incluyendo la Riqueza taxonómica (S) y la Abundancia total (N). Asimismo, se evaluarán indicadores de diversidad, como la Diversidad de Shannon-Wiener (H'), la Dominancia de Simpson (D) y la Uniformidad de Pielou (J'), los cuales son definidos como sigue:

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

$$H' = \sum_{i=1}^N \frac{n_i}{N} \ln \left( \frac{N}{n_i} \right) \quad (4)$$

Donde,  $n_i$  es el número de individuos de la especie  $i$  y  $N$  es el número de individuos totales.

Índice de Dominancia de Simpson (Simpson, 1949):

$$D = \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \quad (5)$$

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')

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}} \quad (6)$$

Donde  $H'$  es el índice de diversidad de Shannon-Wiener (Ec. 4) y  $H'_{max}$  es el valor máximo de  $H'$  registrado en un punto de monitoreo.

Asimismo, con el propósito de identificar posibles disparidades en la composición faunística entre los puntos de monitoreo, se llevó a cabo un análisis detallado de la estructura y composición de especies, mediante el cálculo de las distancias de Bray-Curtis y la generación de un análisis de ordenación bidimensional a través del Escalamiento No-Métrico Multidimensional (nMDS). Para

la aplicación del nMDS, se empleará la función metaNMDS (implementada en el paquete de R vegan), que facilita el escalamiento al tiempo que garantiza una solución estable mediante múltiples inicios aleatorios. Este procedimiento estandariza la escala de los resultados, facilitando la interpretación al agregar los puntajes de especies a la ordenación del sitio. El resultado del análisis se representa en una ordenación Biplot, que permite observar las especies que explican la estructuración comunitaria observada para cada componente analizado.

Todos los análisis; scripts y funciones, serán ejecutados en el entorno de programación R (<https://www.r-project.org>) (ver **Anexo Digital 04**).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Carga de bases datos al sistema de información ambiental

La carga de datos se realizó de manera individual para cada ecosistema piloto de monitoreo o humedal, de manera que los datos correspondientes a cada uno de los humedales fueron ingresados a la plataforma los días 05 y 06 de agosto de 2024 bajo un propio Marco de Monitoreo de forma independiente para los datos de calidad de agua (**Tabla 3**) y biodiversidad (**Tabla 4**), asegurando el orden de la información y facilitando su posterior consulta y análisis de manera particular.

**Tabla 3.** Estado de la carga de datos de calidad de agua al Sistema Red Monitoreo Ecosistemas Acuáticos. Elaboración propia.

Marco de Monitoreo	ID Lote	Fecha de carga	Referencia	Seguimiento	Referencia Lote Mediciones
Elqui - GEF Humedales Costeros	29	05-08-2024	Monitoreo Calidad Agua Elqui	Publicada	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/CalidadAgua/Details/29">https://datosagua.mma.gob.cl/CalidadAgua/Details/29</a>
Mantagua - GEF Humedales Costeros	25	05-08-2024	Monitoreo Calidad Agua	Publicada	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/CalidadAgua/Details/25">https://datosagua.mma.gob.cl/CalidadAgua/Details/25</a>
Cáhuil - GEF Humedales Costeros	26	05-08-2024	Monitoreo Calidad Agua Cáhuil	Publicada	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/CalidadAgua/Details/26">https://datosagua.mma.gob.cl/CalidadAgua/Details/26</a>
Rocuant-Andalién - GEF Humedales Costeros	27	05-08-2024	Monitoreo Calidad Agua Rocuant-Andalién	Publicada	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/CalidadAgua/Details/27">https://datosagua.mma.gob.cl/CalidadAgua/Details/27</a>
Queule - GEF Humedales Costeros	28	05-08-2024	Monitoreo Calidad Agua Queule	Publicada	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/CalidadAgua/Details/28">https://datosagua.mma.gob.cl/CalidadAgua/Details/28</a>

**Tabla 4.** Estado de la carga de datos de biota al Sistema Red Monitoreo Ecosistemas Acuáticos. Elaboración propia.

Marco de Monitoreo	ID Lote	Fecha de carga	Referencia	Seguimiento	Referencia Lote Mediciones
Elqui - GEF Humedales Costeros	56	05-08-2024	Monitoreo Biota-Ictiofauna Elqui	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/56">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/56</a>
	55	05-08-2024	Monitoreo Biota-Avifauna Elqui	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/55">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/55</a>
	54	05-08-2024	Monitoreo Biota-Anfibios Elqui	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/54">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/54</a>
	66	06-08-2024	Monitoreo Biota-Quirópteros Elqui	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/66">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/66</a>
	65	06-08-2024	Monitoreo Biota-Macroinvertebrados Elqui	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/65">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/65</a>
	64	06-08-2024	Monitoreo Biota-Fitobentos Elqui	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/64">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/64</a>

Marco de Monitoreo	ID Lote	Fecha de carga	Referencia	Seguimiento	Referencia Lote Mediciones
Mantagua - GEF Humedales Costeros	68	06-08-2024	Monitoreo Biota-Macroinvertebrados Mantagua	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/68">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/68</a>
	67	06-08-2024	Monitoreo Biota-Ictiofauna Mantagua	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/67">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/67</a>
	57	05-08-2024	Monitoreo Biota-Avifauna Mantagua	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/57">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/57</a>
Cáhuil - GEF Humedales Costeros	69	06-08-2024	Monitoreo Biota-Macroinvertebrados Cáhuil	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/69">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/69</a>
	59	05-08-2024	Monitoreo Biota-Ictiofauna Cáhuil	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/59">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/59</a>
	58	05-08-2024	Monitoreo Biota-Avifauna Cáhuil	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/58">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/58</a>
Rocuant-Andalién - GEF Humedales Costeros	61	05-08-2024	Monitoreo Biota-Ictiofauna Rocuant	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/61">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/61</a>
	60	05-08-2024	Monitoreo Biota-Avifauna Rocuant	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/60">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/60</a>
	70	06-08-2024	Monitoreo Biota-Macroinvertebrados Rocuant	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/70">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/70</a>
Queule - GEF Humedales Costeros	62	05-08-2024	Monitoreo Biota-Ictiofauna Queule	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/62">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/62</a>
	72	06-08-2024	Monitoreo Biota-Avifauna Queule	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/72">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/72</a>
	71	06-08-2024	Monitoreo Biota-Macroinvertebrados Queule	Cargado	<a href="https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/71">https://datosagua.mma.gob.cl/Biota/Details/71</a>

## 4.2 Levantamiento de enfoques de investigación participativos

Se llevaron a cabo reuniones participativas con los coordinadores locales de cada uno de los humedales pilotos (**Anexo Digital 02**) realizadas los días 10, 11 y 12 de julio de 2024, las cuales fueron clave para levantar preguntas de investigación específicas de cada sitio (**Tabla 5**), basadas en las particularidades ambientales y ecológicas de cada humedal.

La propuesta metodológica fue presentada en una revisión conjunta con los coordinadores locales, donde se discutieron los enfoques estadísticos propuestos para garantizar que estuvieran alineados con los intereses y prioridades de cada ecosistema.

**Tabla 5.** Enfoques de investigación particulares de cada ecosistema piloto. Elaboración propia.

Ecosistema Piloto	Enfoque de investigación
Humedal del Río Elqui	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Análisis de calidad de agua y biota acuática entre cuenca alta, media y baja.</li> <li>▪ Identificación de parámetros relevantes de calidad de agua alineados con los límites establecidos en la Norma Secundaria de Calidad de Agua (NSCA) del Río Elqui</li> <li>▪ Análisis de concentraciones de metales y contaminación por agroquímicos en función de actividad agrícola, relaves y pasivos mineros en la cuenca.</li> <li>▪ Influencia de la intrusión marina en el sistema acuático y relación con parámetros fisicoquímicos</li> </ul>
Humedal Mantagua	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cruce de calidad de agua y biota para temporalidad disponible (año 2022)</li> <li>▪ Contraste entre zona estuarina, zona fluvial y laguna costera (sistema independiente)</li> <li>▪ Comportamiento de variables indicadoras de calidad de agua para identificar alertas de concentraciones de parámetros críticos</li> <li>▪ Relación de la calidad de agua con blooms algales</li> </ul>
Humedal Cáhuil	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Análisis de la data del sistema de monitoreo continuo del humedal piloto (nivel de agua y salinidad 2023-2024)</li> <li>▪ Diferencias estacionales en la calidad de agua y biota, considerando variaciones nivel de agua</li> <li>▪ Diferencias espaciales en entre zona estuarina y fluvial</li> <li>▪ Comparación de la data inicio monitoreo vs data último monitoreo</li> <li>▪ Comparación de registros de biota con plataformas de información de biodiversidad (GBIF y eBird)</li> </ul>
Humedal Rocuant-Andalién	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Usos territoriales del humedal piloto Rocuant y su influencia en la calidad de agua</li> <li>▪ Efectos de la intrusión marina en el sistema</li> <li>▪ Relacionar parámetros de calidad de agua con registros de biodiversidad</li> <li>▪ Análisis data complementaria de calidad de agua (ONG Manzana Verde)</li> </ul>
Humedal del río Queule	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Análisis de calidad de agua y biota de la cuenca alta, media y baja, y tributarios del sistema.</li> <li>▪ Enfoque en parámetros indicadores, principalmente oxígeno disuelto</li> <li>▪ Influencia de actividad ganadera o forestal en calidad de agua</li> <li>▪ Relacionar parámetros calidad de agua con registros de biota acuática</li> <li>▪ Relación entre tamaños de macrofauna bentónica y presencia de potenciales depredadores.</li> </ul>

### **4.3 Caracterización de humedales piloto**

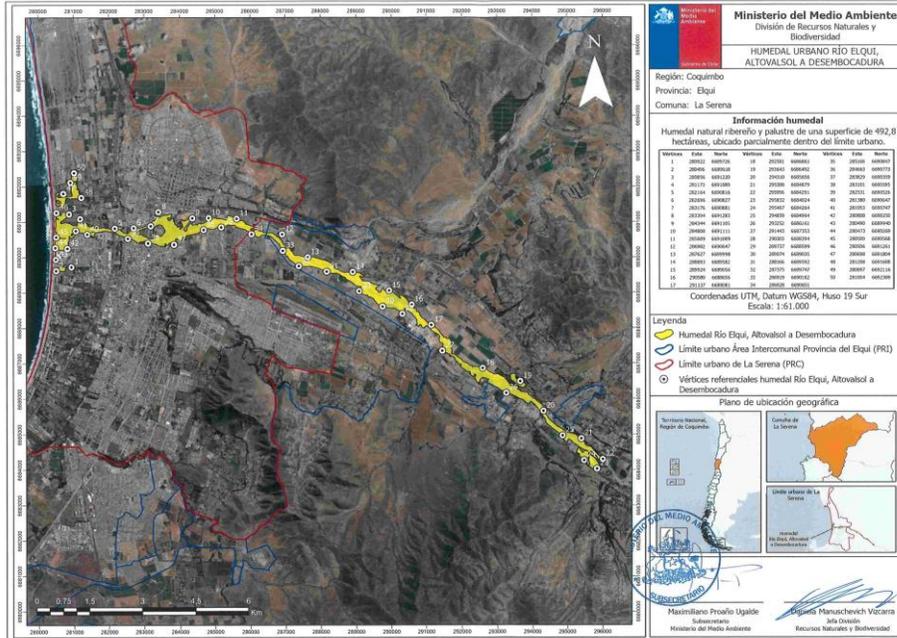
La caracterización de cada uno de los humedales piloto se estructura en una ficha, la cual es elaborada a partir de una exhaustiva recopilación de información bibliográfica. Para cada una de las fichas se describen: i) aspectos geográficos (ubicación, tipo de hábitat y clima); ii) atributos de conservación (diversidad de especies, considerando presencia de endemismo, y grados de amenaza de acuerdo al Reglamento de Clasificación de Especies, RCE); iii) usos de suelo (áreas urbanas residenciales, zonas urbano-industriales, áreas verdes urbanas, matorrales y zonas agrícolas); iv) amenazas (contaminación, especies invasoras, construcciones industriales, etc.); v) documentos asociados (informes técnicos y diagnósticos asociados con delimitación y caracterización de usos del humedal); vi) actividades de manejo (investigación, fortalecimiento de marcos normativos, difusión y capacitación); vii) partes interesadas (listado de actores clave); y viii) monitoreo ambiental (detalle de campañas de monitoreo y matrices evaluadas).

A continuación, se entrega las fichas elaboradas para cada uno de los humedales en estudio.

# DESEMBOCADURA DEL RÍO ELQUI

Humedal piloto  
Proyecto GEF Humedales Costeros

## Ubicación 1 y 2

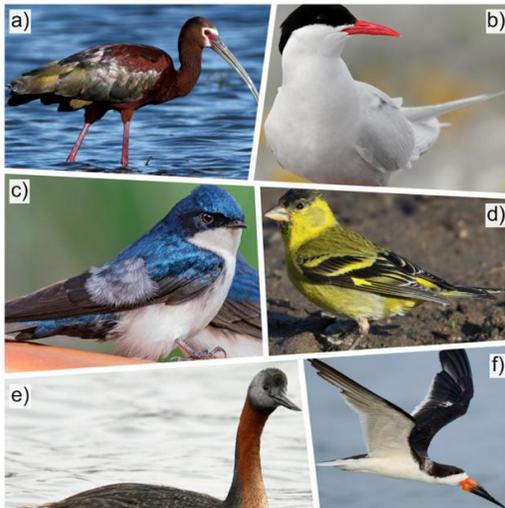


El humedal del río del Elqui se ubica en la comuna de La Serena, Región de Coquimbo. El sistema corresponde a un Humedal Urbano declarado con una superficie de 492,8 hectáreas, el cual se caracteriza por presentar un hábitat ribereño con influencia estuarina.

## Atributos de Conservación 2, 3, 4, 5

El Humedal del Río Elqui es un ecosistema de alto grado de endemismo y diversidad de especies de fauna vertebrada, donde destacan más de 160 aves, 7 peces, 6 mamíferos, 5 reptiles y 3 anfibios.

Del total de especies identificadas, 139 corresponden a aves residentes y migratorias, donde 11 son clasificadas como En Peligro (EN), según el RCE.

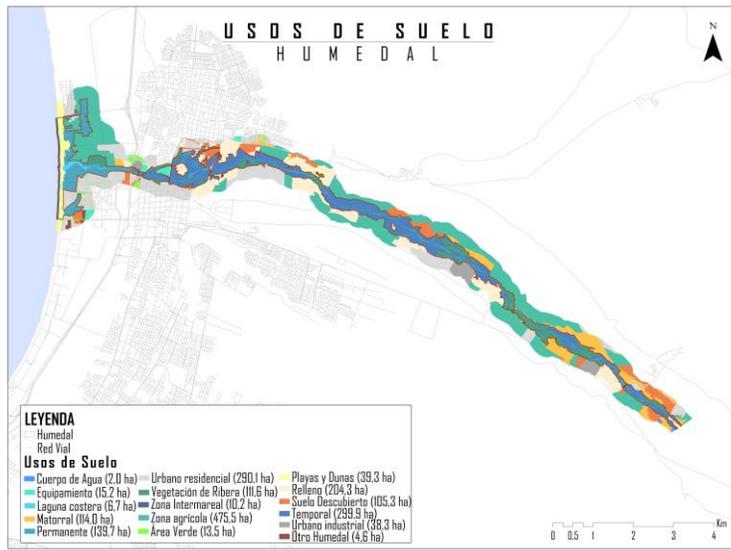


Avifauna en categoría de conservación (EN) del Humedal del Río Elqui. a) cuervo de pantano (*Plegadis chiti*); b) gaviotín sudamericano (*Sterna hirundinacea*); c) golondrina de dorso negro (*Pygochelidon cyanoleuca*); d) jilguero (*Spinus barbatus*); e) huala (*Podiceps major*); f) rayador (*Rynchops niger*).



Avifauna en categoría de conservación (EN) del Humedal del Río Elqui. g) pilpién común (*Haematopus palliatus*); h) chirihue (*Sicalis luteola*); i) picaflor del norte (*Rhodopus vesper*); j) picurio (*Podilymbus podiceps*); k) loica (*Leistes loyca*).

## Usos de suelo <sup>1</sup>



Los usos de suelo del sistema, según la delimitación del humedal propuesta por Figueroa *et al.* (2021), corresponden principalmente a:

- Áreas urbanas residenciales (290 ha) ubicadas en su mayoría en la franja costera.
- Zonas urbano-industriales (38 ha), situadas cerca del lecho del río y se distribuyen en fragmentos a lo largo de distintos tramos del humedal.
- Áreas verdes urbanas (13,5 ha) repartidas en pequeñas superficies en toda la zona urbana.
- Matorrales (114 ha) localizados principalmente en la ribera del río Elqui, en agrupaciones y franjas pequeñas.
- Zonas agrícolas (475,5 ha) que

se encuentran en llanuras y terrazas de inundación fluvial.

## Amenazas <sup>2</sup>

- Basura y residuos sólidos
- Rellenos
- Expansión de áreas residenciales (desarrollo inmobiliario)
- Especies exóticas invasoras
- Drenaje
- Residuos industriales líquidos
- Construcción de caminos y puentes
- Minería y extracción de minerales
- Recolección de plantas
- Descarga de aguas residuales
- Apertura no controlada de la barra de arena terminal

## Documentación asociada

- Informe Delimitación y Caracterización de Usos del Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes, Región de Coquimbo.
- Identificación y Priorización de Áreas de Restauración Ecológica para el Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes, Región de Coquimbo.
- Diagnóstico de las fuentes emisoras puntuales y difusas de contaminación del **Humedal de Río Elqui**.

## Actividades de manejo

### Investigación:

- Avances en el Programa de Monitoreo del humedal desembocadura del río Elqui
- Delimitación ecológica y caracterización de usos del humedal desembocadura del río Elqui
- Identificación de áreas prioritarias para la restauración del humedal desembocadura del río Elqui, y propuesta de acciones
- Estudio de hidrodinámica y morfodinámica del humedal
- Diagnóstico de las fuentes emisoras de contaminación del humedal
- Programa Monitores Ambientales de Humedales

### Fortalecimiento de marcos normativos:

- Observaciones conjuntas a la planificación territorial urbana cercana al río Elqui
- Apoyo técnico en el proceso de declaración de Humedal Urbano para la desembocadura del río Elqui
- Apoyo técnico a la elaboración de la ordenanza municipal de humedales urbanos

### Difusión y capacitación:

- Concursos de dibujo infantil y Campañas de difusión #SalvemosElPilón y #PlayaSinRuedas
- Capacitación a fiscalizadores de humedales
- Cursos de Capacitación: Restauración Ecológica de Humedales; Normativa asociada a Zonas Costeras
- Cápsulas audiovisuales de difusión del Humedal del Río Elqui

- Informe de ganadería trashumante en el **Humedal de Río Elqui**

Partes interesadas	Monitoreo ambiental
<p>El Comité Técnico Local está constituido por 36 instituciones involucradas en la gestión del humedal. Se destacan los organismos que tienen relevancia respecto al programa de monitoreo ambiental.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ SEREMI del Medio Ambiente</li> <li>▪ SEREMI de Bienes Nacionales</li> <li>▪ Gobernación Marítima de Coquimbo</li> <li>▪ SEREMI de Obras Públicas</li> <li>▪ Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA)</li> <li>▪ I. Municipalidad de La Serena</li> <li>▪ Corporación Nacional Forestal (CONAF)</li> <li>▪ Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA)</li> <li>▪ Mesa Hídrica Elqui bajo Alfalfares</li> <li>▪ Junta de Vigilancia del Río Elqui</li> <li>▪ Las empresas Teck (minería), Aguas del Valle (sanitaria) y Dallserra (agrícola)</li> <li>▪ Asociación Gremial de Pescadores de Caleta San Pedro</li> <li>▪ ONGs Ecoterra, RedAves, Olas Limpias, Centro Neotropical de Entrenamiento en Humedales (CNEH)</li> </ul>	<p>El programa de monitoreo contempla la evaluación de parámetros de calidad de agua y biodiversidad, y considera estaciones de monitoreo que se distribuyen dentro del polígono del humedal, como aguas arriba de este. El monitoreo es realizado por diversas organizaciones público-privadas, según el siguiente diseño:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El monitoreo de calidad de agua se realiza en 13 estaciones de monitoreo localizadas en la parte alta, media y baja de la cuenca baja del Río Elqui (bajo embalse Puclaro), con mediciones de parámetros <i>in situ</i> (pH, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales disueltos, salinidad, y temperatura) a una frecuencia mensual, y parámetros analizados en laboratorio: metales, nutrientes, compuestos orgánicos e inorgánicos, y parámetros biológicos (coliformes fecales y totales), con una frecuencia anual.</li> <li>2. El monitoreo de biodiversidad se realiza en 13 estaciones de monitoreo, con registros de fauna (avifauna, ictiofauna, macrofauna bentónica, anfibios, reptiles y quirópteros), y microalgas acuáticas (fitobentos y fitoplancton).</li> </ol>

**Responsable**

Proyecto GEF Humedales Costeros

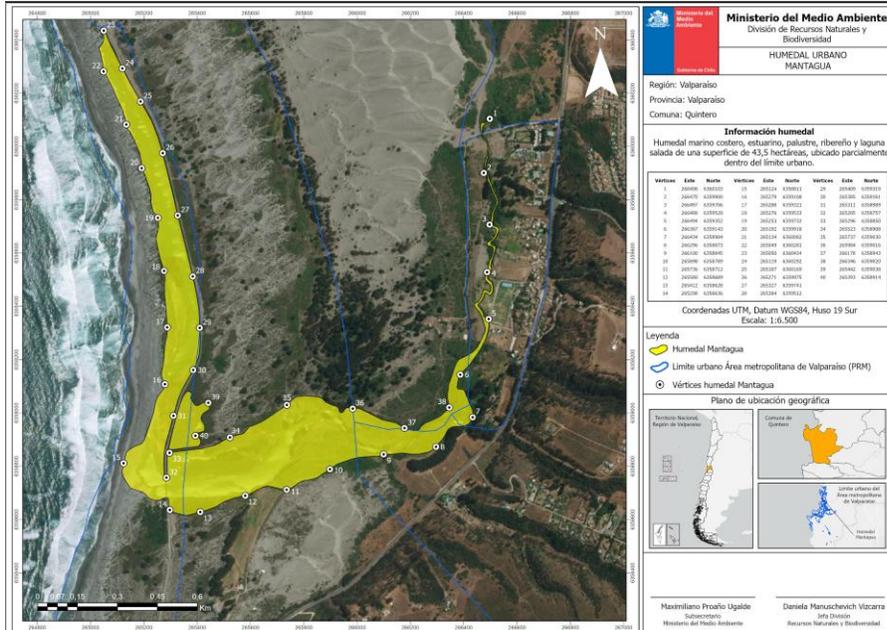
**Referencias**

1. Extraído de Figueroa, A., Lictévout, E., Rojas, C., Tapia, D., Daroch, S., Cáceres, R. 2021. Delimitación y caracterización de usos del Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes, Región de Coquimbo. Informe Final. Ministerio del Medio Ambiente-Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Revisado en <https://gefhumedales.mma.gob.cl/informe-delimitacion-y-caracterizacion-de-usos-del-humedal-desembocadura-del-rio-elqui-y-sus-subcuencas-aportantes-region-de-coquimbo/>
2. Res. MMA N°960 del 03 de septiembre de 2021. N° Expediente: HU-0085 Desembocadura Río Elqui. Revisado en <https://sistemahumedales.mma.gob.cl/OficioHU/DetailsPublico/34>
3. Extraído de Proyecto GEF Humedales Costeros – Ecosistemas Piloto. Sistema de Gestión de Humedales Urbanos. Revisado en <https://gefhumedales.mma.gob.cl/proyecto-gef-humedales-costeros/ecosistemas-piloto/>
4. Registros fotográficos extraídos de plataforma eBird de la Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile (ROC). <https://ebird.org/species/>
5. Proyecto MMA/ONU Medio Ambiente/GEF “Conservación de humedales costeros de la zona centro sur de Chile, hotspot de biodiversidad, a través del manejo adaptativo de los ecosistemas de borde costero”. Síntesis información de Línea Base para el Humedal de la Desembocadura del Río Elqui, comuna de La Serena, Región de Coquimbo. <https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/07/Humedal-Desembocadura-del-rio-Elqui.pdf>

# HUMEDAL DE MANTAGUA

Humedal piloto  
Proyecto GEF Humedales Costeros

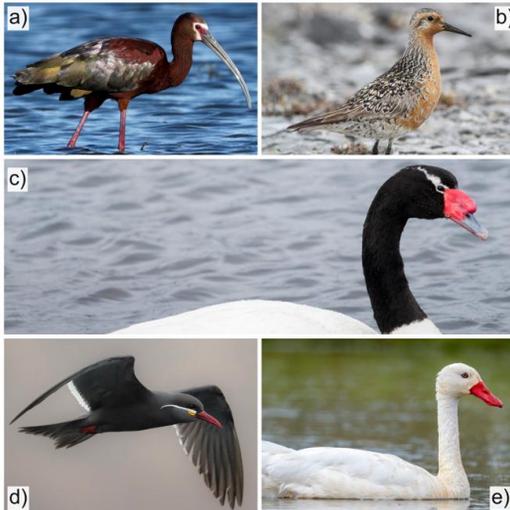
## Ubicación 2



El humedal de Mantagua se ubica en la comuna de Quintero, Región de Valparaíso. El sistema corresponde a un Humedal Urbano declarado, el cual posee una superficie de 41,62 hectáreas, y se caracteriza por presentar un clima templado-cálido con formación de matorrales arborescentes, característicos de humedales costeros.

## Atributos de conservación 2,3,4, 5

El cuerpo de agua sirve de refugio ecológico durante la estación seca, principalmente para las cuatro especies de anfibios, de las cuales 2 son clasificadas como Vulnerable por el RCE. Se presentan 11 especies de ictiofauna, de las cuales 7 son nativas.



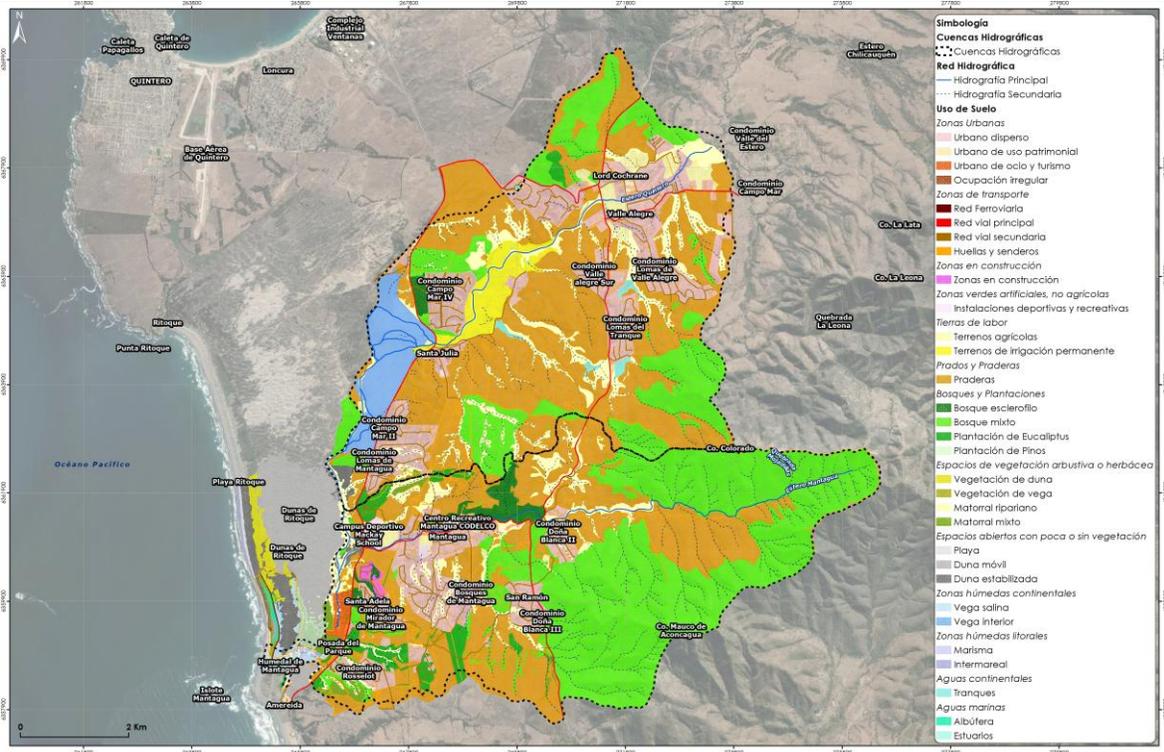
Avifauna en categoría de conservación del Humedal de Mantagua. a) cuervo de pantano (*Plegadis chihí*); b) playero ártico (*Calidris canutus*); c) cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*); d) gaviotín monja (*Larosterna inca*); e) cisne (*Coscoroba coscoroba*).

El humedal de Mantagua forma parte de una importante ruta migratoria de aves, formando parte del Corredor Biológico del Litoral Costero de Chile. En el Humedal de Mantagua y sus ecosistemas asociados se han registrado 215 especies de fauna, destacando la presencia de algunas aves migratorias que llegan a Chile para escapar del invierno boreal. Se encuentran 18 especies de aves en categoría de conservación.



Batracios característicos del Humedal de Mantagua. a) sapito de rulo (*Pleurodema thaul*); b) rana chilena (*Calypsocephalella gayi*); c) sapito de cuatro ojos (*Pleurodema thaul*).

## Usos de suelo <sup>1</sup>



El uso de suelo de las cuencas aportantes del humedal de Mantagua se distribuyen en diversas actividades.

- Las actividades agrícolas son predominantes, con una superficie destinada a este uso de 2540,5 ha
- Las zonas urbanas abarcan 981 ha, mientras que las áreas industriales, comerciales y de transporte ocupan 170,9 ha.
- Existen 378,8 ha de plantaciones forestales y 1884,6 ha de bosque mixto.

La vegetación natural y los espacios abiertos cubren una superficie de 1047,7 ha.

### Amenazas <sup>2</sup>

- Basura y residuos sólidos
- Relleno de humedales urbanos
- Cambios en precipitación y regímenes hidrológicos
- Desarrollo de áreas residenciales
- Especies exóticas invasoras
- Presencia de perros y gatos
- Aguas servidas domiciliarias y urbanas
- Construcción de caminos y puentes
- Ganadería y pastoreo
- Desarrollo de zonas de turismo y recreación
- Actividades turísticas con malas prácticas ambientales
- Fragmentación y degradación de los ecosistemas

### Documentación asociada

- Informe Final Propuesta Técnica delimitación del Humedal Mantagua.
- Humedal costero de Mantagua: Un lugar para la conservación de la biodiversidad en Chile Central.
- Informe monitoreo de macroinvertebrados y peces, humedal de Mantagua.
- Plan de Gestión Integral humedal de Mantagua y sus subcuencas aportantes.
- Informe Plan piloto de enriquecimiento ambiental enfocado en fauna silvestre: Restauración Ecológica subcuenca humedal Mantagua.
- Informe Final Implementación de núcleos de restauración ecológica en quebrada de la subcuenca aportante al Humedal de Mantagua.

## Actividades de manejo

### Investigación:

- Pilotos de restauración ecológica e implementación de un Plan de enriquecimiento ambiental de fauna silvestre en una de las subcuencas aportantes al humedal de Mantagua
- Implementación de vivero e invernadero para la reproducción de árboles, arbustos y herbáceas nativas
- Implementación del primer Acuerdo de Producción Limpia a nivel nacional que considera entre sus ejes de acción a los humedales costeros
- Programa de Monitoreo de Parámetros Físico-Químicos y Aspectos Biológicos del humedal de Mantagua
- Delimitación del humedal de Mantagua e identificación de sitios para implementar acciones de restauración ecológica.
- Identificación e incorporación de 2 Sitios Arqueológicos presentes en el humedal de Mantagua en el Registro Oficial de Sitios Arqueológicos y Paleontológicos del Consejo de Monumentos Nacionales

### Fortalecimiento de marcos normativos:

- Elaboración del Plan de Gestión para el Humedal de Mantagua y sus subcuencas aportantes

- Capacitaciones a servicios públicos sobre “Fauna silvestre en humedales y sus alcances en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)
- Capacitación a funcionarios de Capitanías de Puerto y OS5 de Carabineros sobre la importancia biológica de playas y humedales costeros para una mejor fiscalización
- Capacitaciones a funcionarios municipales y organizaciones sociales/ambientales sobre la Ley 21.202 de Humedales Urbanos

### Difusión y capacitación:

- Capacitaciones teórico-prácticas sobre la identificación y monitoreo de avifauna, macroinvertebrados bentónicos y peces del humedal de Mantagua
- Cápsulas audiovisuales educativas sobre el humedal de Mantagua
- Material educativo visual sobre la importancia de la biodiversidad (flora hidrófila y murciélagos) del humedal Mantagua y la presencia de hongos y líquenes en la zona
- Libro “Humedal Costero de Mantagua: un lugar para la conservación de la biodiversidad de Chile central”
- Instalación de señalética para dar a conocer la importancia del humedal de Mantagua
- Elaboración e implementación del Programa de Educación Ambiental para las escuelas municipalizadas de las Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví

## Monitoreo ambiental

1. Monitoreo de calidad de agua en 4 estaciones de monitoreo (Man\_1 a Man\_4) localizadas en la zona media y baja del curso principal del estero Mantagua, con mediciones de parámetros *in situ* (pH, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales disueltos, salinidad, y temperatura), con una frecuencia mensual de monitoreo. El programa de monitoreo presenta datos desde el último semestre de 2020 al primer semestre de 2024.

2. Monitoreo de biodiversidad realizado en 9 estaciones de monitoreo (Man\_1 a Man\_9) distribuidas en la zona alta, media y baja del curso principal del estero Mantagua, para los grupos de ictiofauna y macrofauna bentónica, realizado por el Laboratorio LECOS de la Universidad de Viña del Mar. El monitoreo de avifauna es realizado por el SAG (Servicio Agrícola y Ganadero) mediante dos censos anuales en diversos puntos de observación a lo largo del curso principal.

#### Partes interesadas

- SEREMI de Medio Ambiente, Región de Valparaíso
- Consejo de Monumentos Nacionales, Región de Valparaíso
- Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, Región de Valparaíso
- Gobierno Regional de Valparaíso (GORE)
- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Región de Valparaíso
- Gobernación Marítima de Valparaíso
- Pontificia Universidad Católica Valparaíso
- Universidad de Valparaíso
- Ilustre Municipalidad de Quintero

#### Responsable

Proyecto GEF Humedales Costeros

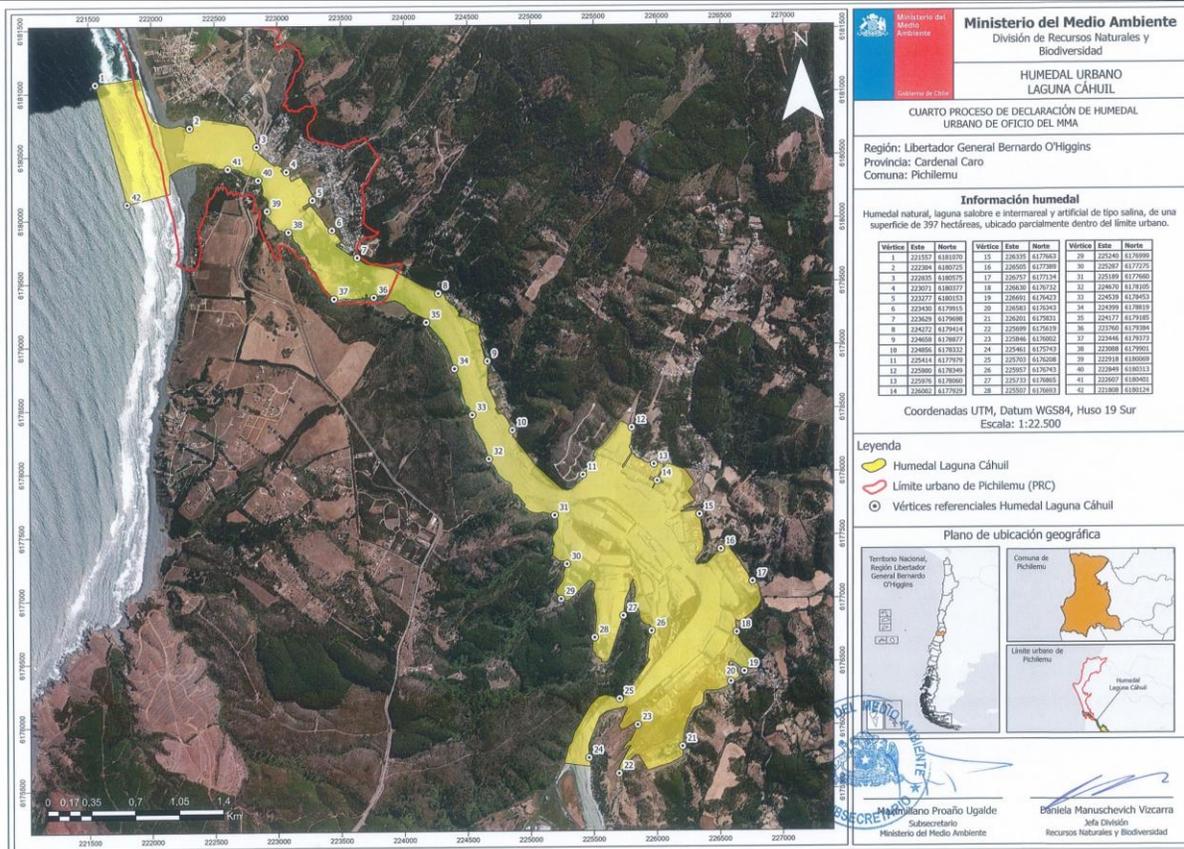
#### Referencias

1. Extraído de Contreras, M., Zulueta, R., Fariña, J. M., & Larraguibel, G. (2021). Informe final Propuesta Técnica delimitación del Humedal de Mantagua e identificación de áreas prioritarias a restaurar en la cuenca asociada. Dinámica Costera. Revisado en <https://gefhumedales.mma.gob.cl/informe-final-propuesta-tecnica-delimitacion-del-humedal-de-mantagua/>
2. N° Expediente: HU-0100 Mantagua. Sistema de Gestión de Humedales Urbanos Revisado en <https://sistemahumedales.mma.gob.cl/HumedalesUrbanos/DetailsPublico/67>
3. Extraído de Proyecto GEF Humedales Costeros – Ecosistemas Piloto. Sistema de Gestión de Humedales Urbanos. Revisado en <https://gefhumedales.mma.gob.cl/proyecto-gef-humedales-costeros/ecosistemas-piloto/>
4. Registros fotográficos especies, extraído de plataformas eBird <https://ebird.org/species/> y iNaturalist <https://inaturalist.mma.gob.cl/>
5. Extraído de Ibáñez G. & J. Sepúlveda (2022). Aproximación a la Fauna de Vertebrados del humedal de Mantagua. En: Flores L., M. Contreras, R. Figueroa y A. Arenas (Eds.) Humedal costero de Mantagua. Un lugar para la conservación de la biodiversidad en Chile Central. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Valparaíso, Chile. 133-166 pp. [https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/06/Publicacion-Mantagua-final\\_baja.pdf](https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/06/Publicacion-Mantagua-final_baja.pdf)

# HUMEDAL DE CÁHUIL

## Humedal piloto Proyecto GEF Humedales Costeros

### Ubicación <sup>2</sup>



El humedal de Cahuil se ubica en la comuna de Pichilemu, Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Posee una superficie de 396 hectáreas, y se caracteriza por presentar un clima mediterráneo, con presencia de matorrales arborescentes, típico de humedales costeros.

### Atributos de conservación <sup>2,3,4</sup>

El Humedal de Cahuil alberca una notable diversidad de especies. Se han registrado 61 especies de aves, debido que el ecosistema representa un importante sitio de nidificación.

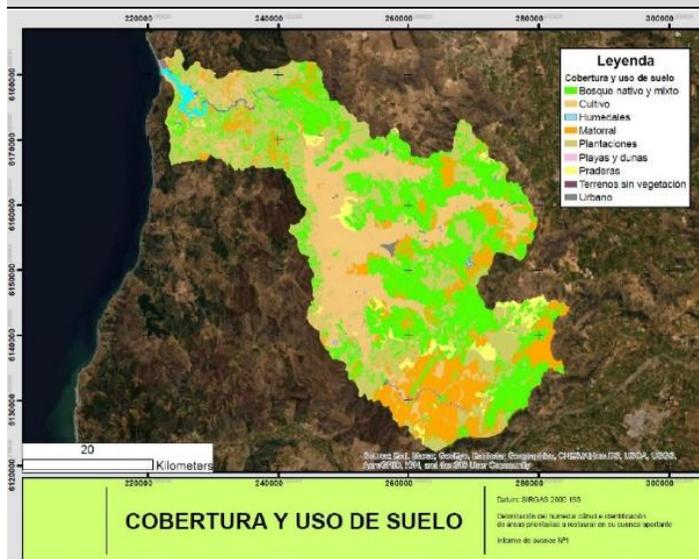
El ecosistema constituye un hábitat para especies clasificadas en categoría de amenaza o endémicas, destacando 3 anfibios, 2 aves, 2 peces y 2 mamíferos.

De acuerdo con el RCE, se registran 3 especies Vulnerables (del grupo anfibios y aves) y 1 En Peligro (del grupo de peces).

Fauna en categoría de conservación del Humedal de Cahuil. a) sapo de rulo (*Rhinella arunco*); b) sapito de cuatro ojos (*Pleurodema thaul*); c) rana chilena (*Calyptocephalella gayi*); d) gaviota garuma (*Leucophaeus modestus*); e) zarapito de pico recto (*Limosa haemastica*); f) zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*); g) güiña (*Leopardus guigna*); h) pejerrey (*Basilichthys semotilus*); i) cauque del norte (*Odontesthes brevianalis*).



## Usos de suelo <sup>1</sup>



Los usos de suelo humedal de Cáhuil y su subcuenca aportante han mostrado una notable tendencia a la conversión de bosque nativo y mixto, matorrales y cultivos hacia plantaciones forestales.

- El área se distribuye principalmente en bosque nativo y mixto, que cubre el 31,6% de la superficie, seguido de plantaciones forestales que ocupan el 28,0%.
- Los cultivos representan el 20,8% del área.
- Los matorrales abarcan el 15,9%, mientras que las praderas cubren el 0,53%.
- El uso urbano, que representa el 0,43% del área total, ha mostrado un incremento debido a la incorporación de la zonificación de los planes reguladores en la región.

## Amenazas <sup>2</sup>

- Relleno de humedales urbanos
- Cambios en precipitación y regímenes hidrológicos
- Desarrollo de áreas residenciales
- Aguas servidas domiciliarias y urbanas
- Alteración y cambio en la delimitación de ecosistemas
- Eventos climáticos extremos/severos
- Contaminación difusa por usos agrícolas y/o forestales
- Modificación de la barra terminal
- Plantaciones forestales
- Minería y extracción de minerales
- Desarrollo de zonas de turismo y recreación
- Acuicultura marina y de agua dulce, pesca y recolección de productos acuáticos

## Documentación asociada

- Propuesta integral de protocolo de apertura mecanizada de la barra terminal para el humedal de Cáhuil
- Delimitación del humedal laguna de Cáhuil e identificación de áreas prioritarias a restaurar en su cuenca aportante
- Levantamiento de información algal del humedal Cáhuil y propuestas de manejo sustentable en escenarios de floración excesiva
- Propuesta del Plan de Manejo para el desarrollo de actividades turísticas en el humedal de Cáhuil

## Actividades de manejo <sup>3</sup>

### Investigación:

- Delimitación del humedal Cáhuil e identificación de áreas prioritarias a restaurar
- Levantamiento de información algal del humedal Cáhuil para su manejo en escenarios de floración excesiva
- Programa de monitoreo fisicoquímico del humedal Cáhuil y humedales del borde costero de la región de O'Higgins
- Estudio de casos jurídicos relacionados con daño ambiental a humedales de la región de O'Higgins

### Fortalecimiento de marcos normativos:

- Propuesta de protocolo de apertura mecanizada de la barra terminal para el humedal Cáhuil
- Valorización económica de servicios ecosistémicos del humedal Cáhuil y evaluación de escenarios de implementación de protocolo de manejo de la barra

## Partes interesadas

- Gobierno Regional de O'Higgins
- Municipalidad de Pichilemu
- SEREMI del Medio Ambiente, Región de O'Higgins
- SEREMI de Bienes Nacionales, Región de O'Higgins
- Dirección Regional de O'Higgins del Servicio Nacional de Pesca
- Capitanía de Puerto de Pichilemu
- Unidad Regional de O'Higgins de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo
- Secretaría Regional de O'Higgins de la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático
- Agrupaciones de La Balsa, Club Deportivo y Adulto Mayor Cáhuil

- Inicio de la elaboración del Plan de Gestión Integral para el humedal laguna Cáhuil y su subcuenca aportante
- Propuesta de Plan de manejo para el desarrollo de actividades turísticas en el humedal
- Apoyo a la postulación de fondos concursables a organizaciones de la cuenca Nilahue

**Difusión y capacitación:**

- Capacitaciones para el fomento al desarrollo de viveros locales en la comuna de Pichilemu
  - Identificación de fondos concursables y diagnóstico de capacidades de organizaciones locales de la cuenca Nilahue
  - Publicación del Atlas ilustrado del humedal Cáhuil
  - Instalación de señalética de puesta en valor del humedal Cáhuil
  - Jornadas de limpieza de humedales y de avistamiento de aves en el humedal Cáhuil
- Cámara de Turismo Rural y Agrupación Muelle Cáhuil
  - Juntas de Vecinos de Cáhuil N° 3
  - Junta de Vecinos Barrancas
  - Agrupaciones de Salineros, Boteros y Pescadores de Cáhuil
  - Junta de Vecinos de Villa Esperanza
  - Agrupación Cultural y Educación de Cáhuil
  - Cooperativa de Agua Potable Rural Cáhuil
  - ONG Centro de Desarrollo Sustentable de Pichilemu-CEDESUS
  - Universidad de O'Higgins
  - Empresa Sanitaria ESSBIO S.A.

**Monitoreo ambiental**

1. El monitoreo de calidad de agua se realiza en 5 estaciones de monitoreo (Cah\_1 a Cah\_5) distribuidas en la parte alta, media y baja del cauce principal, con mediciones de parámetros in situ (pH, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales disueltos, salinidad, y temperatura), con una frecuencia de monitoreo mensual. El monitoreo presenta una extensión temporal desde mediados de 2021 al primer semestre de 2024.
2. El monitoreo de biodiversidad se realiza en 7 estaciones de monitoreo para avifauna (Cah\_1 a Cah\_7), y en 5 estaciones de monitoreo para ictiofauna y macrofauna bentónica (Cah\_1 a Cah\_5), distribuidas en la parte alta, media y baja del cauce principal

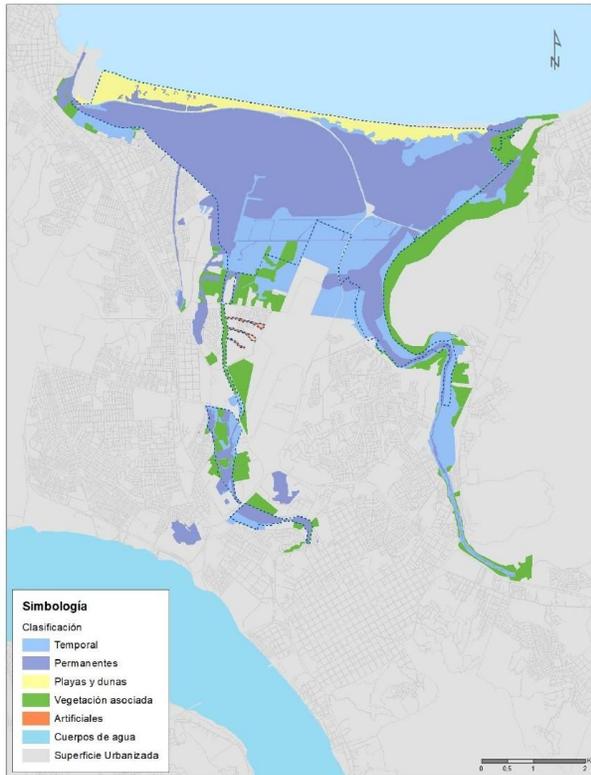
**Responsable**

Proyecto GEF Humedales Costeros

**Referencias**

1. Extraído de Consultora Photosíntesis. 2021. Delimitación del humedal laguna de Cáhuil e identificación de áreas prioritarias a restaurar en su cuenca aportante. Revisado en <https://gefhumedales.mma.gob.cl/delimitacion-del-humedal-laguna-de-cahuil-e-identificacion-de-areas-prioritarias-a-restaurar-en-su-cuenca-aportante/>
2. Memorándum Solicitud Cáhuil. N° Expediente: OF-06-1044 Laguna Cáhuil. Portal de Humedales. <https://sistemahumedales.mma.gob.cl/OficioHU/DetailsPublico/1044>
3. Extraído de Proyecto GEF Humedales Costeros – Ecosistemas Piloto. Revisado en <https://gefhumedales.mma.gob.cl/proyecto-gef-humedales-costeros/ecosistemas-piloto/>
4. Registros fotográficos especies, extraído de plataformas eBird <https://ebird.org/species/> y iNaturalist <https://inaturalist.mma.gob.cl/>

## Ubicación <sup>1</sup>

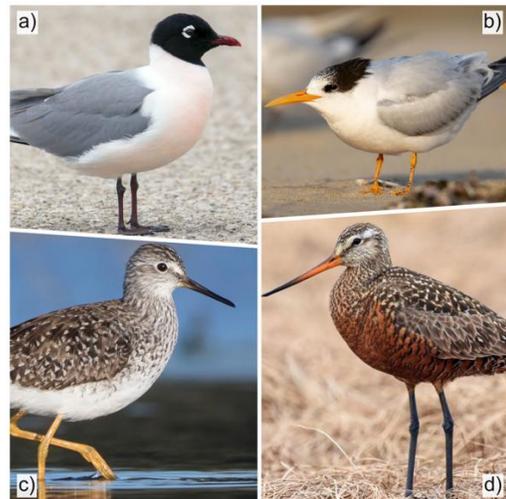


El humedal Rocuant-Andalién se ubica en la comuna de Talcahuano, Región del Biobío. Posee una superficie de 2955,58 hectáreas, y se caracteriza por presentar una vegetación de marisma, con presencia de pastizales inundables de sectores salobres y pantanosos.

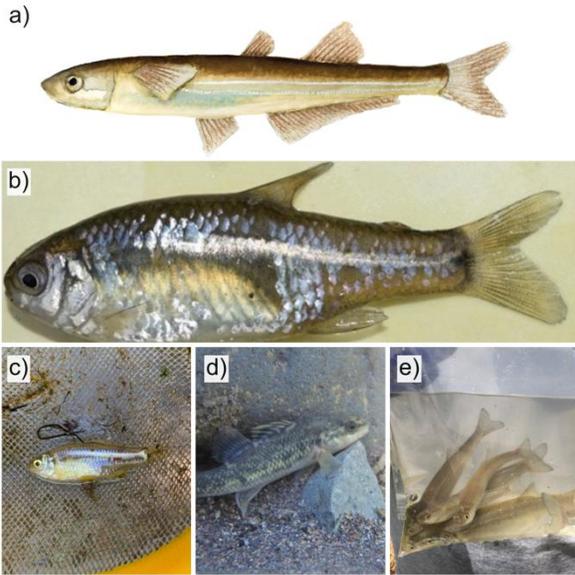
## Atributos de conservación <sup>2,3,4,5</sup>

El sistema de humedales Rocuant-Andalién corresponde a una de las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves y la Biodiversidad (IBA) de Chile, debido a su alto valor ecológico. Representa un área de refugio y fuente de alimentación para una gran diversidad de aves, tanto migratorias como residentes. Además, junto al humedal Paicaví-Tucapel Bajo y Vasco Da Gama, corresponde a un Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad (SPCB)

Además, existe presencia potencial de fauna íctica endémica:



Avifauna en categoría de conservación del Humedal Rocuant-Andalién. a) gaviota de Franklin (*Larus pipixcan*); b) gaviotín elegante (*Thalasseus elegans*); c) pitotoy chico (*Tringa flavipes*); d) zarapito de pico recto (*Limosa haemastica*)

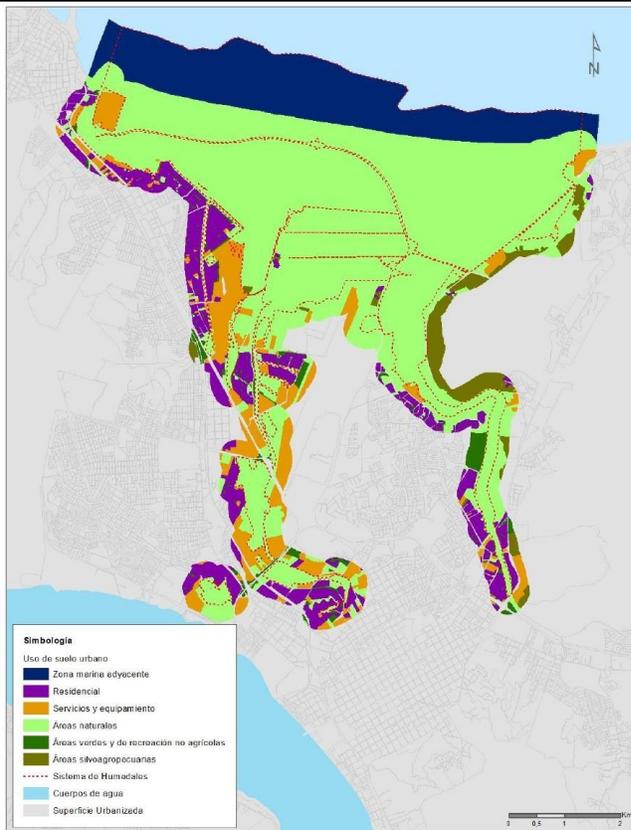


Ictiofauna endémica del Humedal Rocuant-Andalién. a) cauque (*Odontesthes maleanum*); b) pocha de los lagos (*Cheirodon galusdae*); c) pocha (*Cheirodon pisciculus*); d) carmelita de Concepción (*Percilia irwini*); e) pejerrey chileno (*Basilichthys australis*).



Batrachios amenazados del Humedal Rocuant-Andalién. a) rana chilena (*Calyptocephalella gayi*); ranita de antifaz (*Batrachyla taeniata*); c) sapo de rulo (*Rhinella arunco*); d) sapito de cuatro ojos (*Pleurodema thaul*).

### Usos de suelo <sup>1</sup>



La dinámica de usos de suelo del sistema muestra un predominio de áreas naturales en los bordes, sin embargo, el crecimiento urbano y las actividades productivas, especialmente en zonas residenciales e industriales, ejercen presión sobre el ecosistema.

- Vegetación y Áreas Naturales: Predominan en los bordes del humedal, especialmente en la zona del aeropuerto y los bordes del río Andalién, ocupando 2.848,9 ha.
- Zona Residencial: Cubre 465,19 ha, concentrándose principalmente en las áreas cercanas al Humedal Paicaví, Vasco de Gama, y en Talcahuano, alrededor del Canal Ifarle.
- Áreas de servicio y equipamiento: Ocupan 405,76 ha, e incluye áreas industriales, bodegas construcción, y diversos servicios.
- Uso silvoagropecuario: zonas destinadas principalmente a horticultura y ganadería, compatibles con el ecosistema del humedal, ocupando 143,06 ha.

Documentación asociada	Amenazas <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plan de Gestión Integral para el Sistema Humedal Rocuant-Andalién-Vasco Da Gama-Paicaví-Tucapel Bajo y sus subcuencas hidrográficas asociadas.</li> <li>▪ Ruta Patrimonial: Humedales Urbanos del Biobío</li> <li>▪ Definición de límites e identificación de áreas prioritarias a restaurar del Sistema Humedal Rocuant-Andalién-Vasco Da Gama-Paicaví-Tucapel Bajo, comunas de Concepción, Hualpén, Talcahuano y Penco, Región del Biobío</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Basura y residuos sólidos</li> <li>▪ Relleno de humedales urbanos</li> <li>▪ Desarrollo de áreas residenciales e industriales</li> <li>▪ Especies exóticas invasoras</li> <li>▪ Drenaje de humedales urbanos</li> <li>▪ Aguas servidas domiciliarias y urbanas</li> <li>▪ Extracción de áridos</li> <li>▪ Eventos climáticos extremos/severos</li> <li>▪ Construcción de caminos y puentes</li> <li>▪ Ganadería y pastoreo</li> <li>▪ Caza y recolección de animales terrestres</li> <li>▪ Dragado para rutas marítimas y fluviales</li> <li>▪ Pesca y recolección de productos acuáticos</li> <li>▪ Fragmentación hábitat por vialidad</li> </ul>
Acciones <sup>4</sup>	Partes interesadas
<p><b>Investigación y capacitación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Capacitaciones sobre ecología y biodiversidad en humedales costeros y avifauna en humedal Rocuant-Andalién</li> <li>▪ Curso de SIG y Teledetección para la delimitación de humedales orientado a municipios de la región del Biobío</li> <li>▪ Seminario de fiscalización sobre actividades que afectan a humedales</li> <li>▪ Capacitación a Capitanías de Puerto de la región del Biobío para el fortalecimiento en fiscalización de playas, humedales y dunas.</li> </ul> <p><b>Fortalecimiento de marcos normativos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Delimitación del Sistema Humedal Rocuant-Andalién-Vasco Da Gama-Paicaví-Tucapel Bajo e identificación de áreas prioritarias a restaurar</li> <li>▪ Propuesta de mejoras al diseño, implementación y difusión de la Ruta Patrimonial Humedales Urbanos del Biobío</li> <li>▪ Inicio elaboración del Plan de Gestión Territorial Integrado</li> </ul> <p><b>Difusión y educación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Programa educativo sobre humedales para niños y niñas de establecimientos de las comunas de Hualpén, Penco y Talcahuano (trabajo colaborativo con PAC-HRA)</li> <li>▪ Apoyo en el Programa educativo para adultos “Conociendo y valorando los humedales” a cargo de Audubon</li> <li>▪ Salidas educativas, charlas, jornadas de limpiezas de playa y avistamiento de aves con la comunidad</li> <li>▪ Campaña de difusión Conociendo al Pilpilén común</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ SEREMI de Medio Ambiente, Región del Biobío</li> <li>▪ División de Planificación y Desarrollo del GORE, Región del Biobío.</li> <li>▪ Municipalidad de Concepción</li> <li>▪ Municipalidad de Talcahuano</li> <li>▪ Municipalidad de Penco</li> <li>▪ Municipalidad de Hualpén</li> <li>▪ Comité Pro defensa de la Flora y Fauna (CODEFF), Región del Biobío</li> <li>▪ Agrupación Comunitaria y Ecológica Playa Isla De Los Reyes Rocuant</li> <li>▪ Junta de Vecinos Parque Central-Humedal Vasco Da Gama</li> <li>▪ Asamblea Humedal Rocuant</li> <li>▪ Movimiento Salvemos el Río Andalién</li> <li>▪ Colectivo El Queule</li> <li>▪ Red de Humedales del Biobío</li> <li>▪ Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía. Universidad de Concepción</li> <li>▪ Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. Universidad de Concepción</li> <li>▪ Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño. Universidad del Biobío</li> <li>▪ Amigos del Humedal Paicaví</li> <li>▪ Fundación Malvarrosa</li> <li>▪ Fundación Bandada</li> <li>▪ Agrupación Canal Ifarle</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Monitoreo ambiental</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El Monitoreo de calidad de agua se realiza en 6 estaciones de monitoreo (Roc_1 a Roc_6) localizados en la parte alta, media y baja del sistema Rocuant, incluyendo los humedales Canal Ifarle, Paicaví, y Vasco Da Gama. El monitoreo contempla la de parámetros in situ</li> </ol>

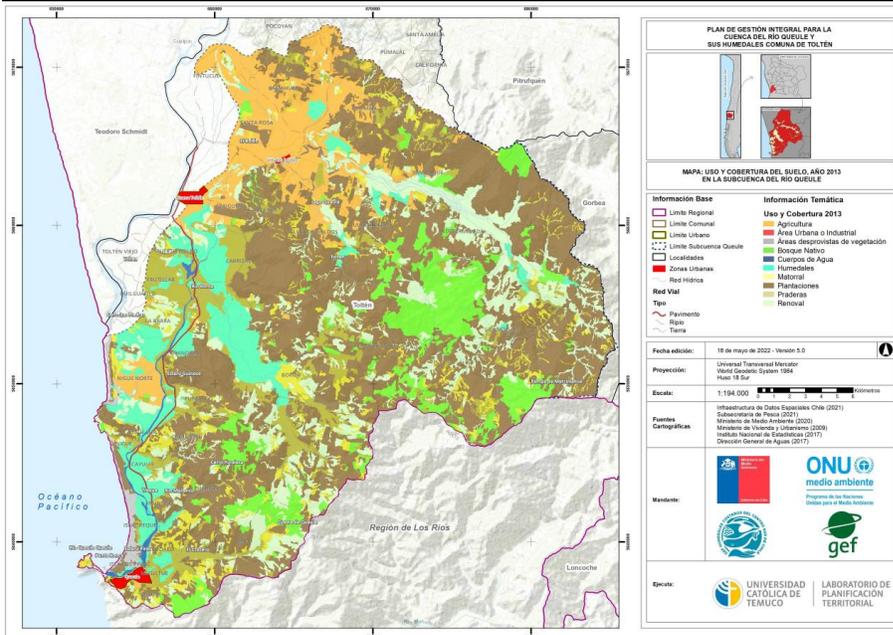
Responsable	
Proyecto GEF Humedales Costeros	<p>(pH, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos suspendidos totales, salinidad, y temperatura), con una frecuencia de monitoreo mensual. El programa de monitoreo presenta datos desde el primer semestre de 2022 al primer semestre de 2023.</p> <p>2. El monitoreo de biodiversidad se realiza en 7 estaciones de monitoreo (CAI, DRA, PAIB, PIR, VDG, RAV, RA-EN) distribuidas en la parte alta, media y baja del sistema Rocuant, incluyendo los humedales Canal Ifarle, Paicaví, y Vasco Da Gama, además de la cuenca del Río Andalién. El monitoreo contempla el censo de avifauna, y monitoreo de especies acuáticas (ictiofauna y macrofauna bentónica)</p>

Referencias
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Extraído URBANCOST. 2021. Definición de límites e identificación de áreas prioritarias a restaurar del Sistema Humedal Rocuant-Andalién-Vasco Da Gama-Paicaví-Tucapel Bajo, comunas de Concepción, Hualpén, Talcahuano y Penco, Región del Biobío. Revisado en <a href="https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/08/INFORME-FINALc.pdf">https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/08/INFORME-FINALc.pdf</a></li> <li>2. N° Expediente: MU-08-192 Rocuant Andalién-Talcahuano. Sistema de Gestión de Humedales Urbanos. Revisado en <a href="https://sistemahumedales.mma.gob.cl/HumedalesUrbanos/DetailsPublico/192">https://sistemahumedales.mma.gob.cl/HumedalesUrbanos/DetailsPublico/192</a></li> <li>3. N° Expediente: MU-08-187 Humedal Rocuant Andalién-Penco. Sistema de Gestión de Humedales Urbanos. Revisado en <a href="https://sistemahumedales.mma.gob.cl/HumedalesUrbanos/DetailsPublico/187">https://sistemahumedales.mma.gob.cl/HumedalesUrbanos/DetailsPublico/187</a></li> <li>4. Extraído de Proyecto GEF Humedales Costeros – Ecosistemas Piloto. Revisado en <a href="https://gefhumedales.mma.gob.cl/proyecto-gef-humedales-costeros/ecosistemas-piloto/">https://gefhumedales.mma.gob.cl/proyecto-gef-humedales-costeros/ecosistemas-piloto/</a></li> <li>5. Registros fotográficos especies, extraído de plataformas eBird <a href="https://ebird.org/species/">https://ebird.org/species/</a> y iNaturalist <a href="https://inaturalist.mma.gob.cl/">https://inaturalist.mma.gob.cl/</a></li> </ol>

# HUMEDAL DE QUEULE

Humedal piloto  
Proyecto GEF Humedales Costeros

## Ubicación <sup>1</sup>

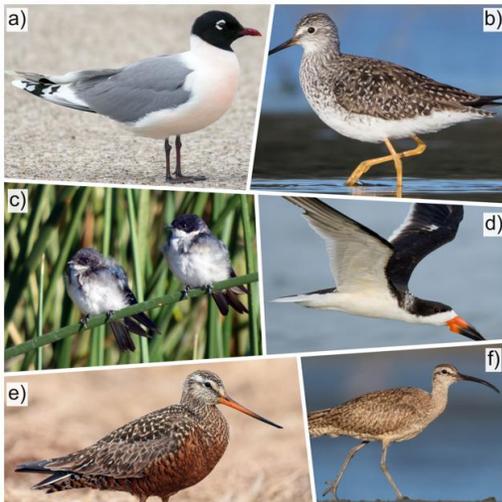


El humedal de Queule se ubica en la comuna de Toltén, Región de La Araucanía. Posee una superficie de 8.859 hectáreas, y se caracteriza por presentar una vegetación conformada por vegas, fragmentos de bosque de temu y pitra y en la desembocadura se presentan matorrales típicos de ambientes estuarinos.

## Atributos de conservación 3,4, 5,6

Los humedales de la cuenca del río Queule han sido identificados como “Sitio Prioritario de Biodiversidad” en el marco de la Estrategia Nacional de Biodiversidad. Para la avifauna destacan 6 especies migratorias, mientras que para el grupo de mamíferos se registran 5 especies.

El ecosistema representa un refugio esencial para la ictiofauna, resaltando su función crítica en la preservación de especies amenazadas, lo que lo convierte en un área de alta prioridad para la gestión y protección ambiental.



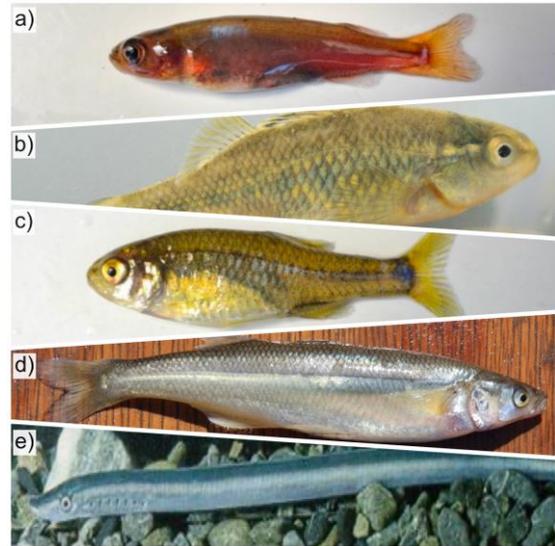
Avifauna migratoria característica del Humedal Queule. a) gaviota de Franklin (*Larus pipixcan*); b) pitotoy chico (*Tringa flavipes*); c) golondrina chilena (*Tachycineta meyeni*); d) rayador (*Rynchops niger*) e) zarapito de pico recto (*Limosa haemastica*); f) zarapito común (*Numenius phaeopus*)



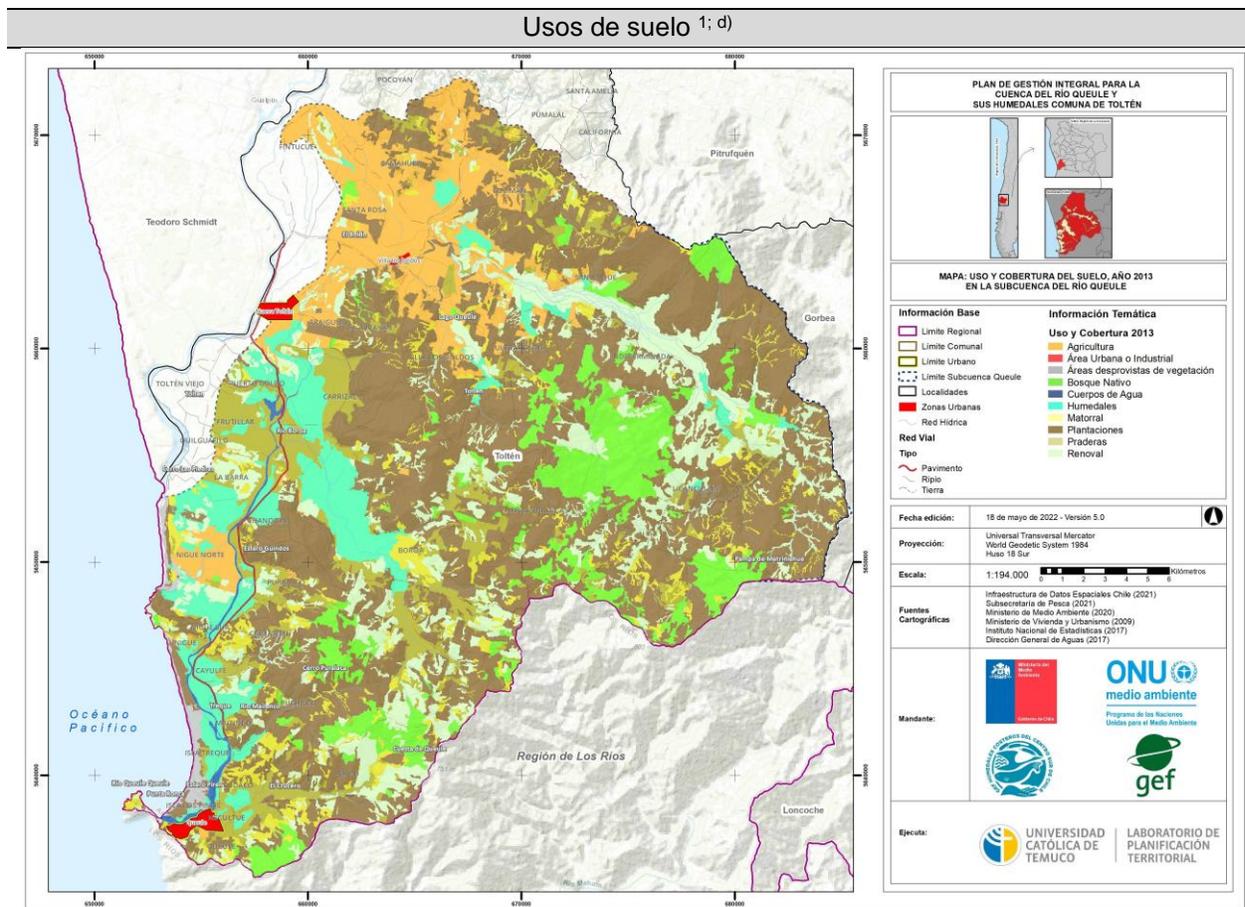
Mamíferos característicos del Humedal Queule a) chingue (*Conepatus chinga*); b) huillín (*Lontra provocax*); c) quique (*Galictis cuja*); d) güiña (*Leopardus guigna*); e) zorro colorado (*Lycalopex culpaeus*).

En cuanto a la macrofauna bentónica, se han registrado 35 taxones, lo que refleja una notable diversidad biológica, que se atribuye a las condiciones favorables presentes en la parte alta de la cuenca, que actúa como un refugio para la vida acuática.

Se han registrado 8 especies ícticas nativas, correspondientes a especies de agua dulce, y aquellas especializadas en ambientes estuarinos. De estas, 5 se encuentran clasificada como especies Vulnerables.



Íctiofauna vulnerable del Humedal Queule. a) puye rojo (*Brachylaxias bullocki*); b) carmelita (*Percilia gillissi*); c) pocha (*Cheirodon galusdae*); d) pejerrey de cola corta (*Odontesthes brevianalis*); e) lamprea (*Geotria australis*).



En el sistema de humedales de la cuenca del río Queule, se observan diversos usos del suelo que incluyen:

- Extracción de vegetación palustre para rellenar terrenos destinados a la construcción de viviendas
- Conversión de áreas para actividades agrícolas
- Conversión de áreas para uso forestal

Según datos de CONAF (2013), el sector forestal abarca una superficie significativa en la cuenca, variando entre 15,902 ha y 34,452 ha en los periodos de 1997 a 2013, lo que representa el 22,8% y 49,4% del área total, respectivamente.

Amenazas <sup>1</sup>	Documentación asociada
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eutrofización de cuerpos de agua</li> <li>▪ Deforestación del bosque de Temu y Pitra</li> <li>▪ Drenaje de Humedales</li> <li>▪ Ocurrencia de incendios forestales</li> <li>▪ Disminución de fuentes de aguas superficiales y subterráneas en la subcuenca</li> <li>▪ Pérdida memoria social e histórica</li> <li>▪ Proliferación de especies invasoras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plan de Gestión Integral para la cuenca del río Queule y sus humedales, Toltén</li> <li>▪ Informe Caracterización de la biodiversidad de los humedales de río Queule usando ADN ambiental</li> <li>▪ Delimitación de los humedales de Queule e identificación de áreas prioritarias a restaurar para la cuenca del Río Queule</li> <li>▪ Plan estratégico a nivel local para el desarrollo de cadenas de valor en los rubros de turismo, agrícola, pesca y artesanía, que contribuyan al uso sostenible de los humedales del río Queule, de la comuna de Toltén</li> </ul>
Acciones <sup>3</sup>	
<p><b>Investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Delimitación del humedal e identificación áreas prioritarias a restaurar</li> <li>▪ Análisis de biodiversidad en base a ADN-Ambiental</li> <li>▪ Programa de Monitoreo físico-químico del humedal</li> <li>▪ Programa de Monitoreo ambiental y biológico del humedal del río Queule, el cual incluye el grupo de las aves, peces y macroinvertebrados bentónicos entre los años 2021 y 2024.</li> <li>▪ Guías de campo sobre biodiversidad de aves, flora nativa, peces e insectos.</li> <li>▪ Programa de Restauración sitios piloto humedal del río Queule.</li> <li>▪ Unidad de investigación “Evaluación espacial de los ensamblajes ícticos del humedal del río Queule, Toltén, Chile” estudiante de Magister de la UACH.</li> <li>▪ Apoyo en acciones de concientización en la comunidad en cuanto a la orden ministerial N2 que prohíbe el tránsito de vehículos motorizados en las playas.</li> </ul> <p><b>Fortalecimiento de marcos normativos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Encuentro con actores relevantes para desarrollo local en el humedal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elaboración del Plan de gestión integral para la cuenca del río Queule y sus humedales en la comuna de Toltén</li> </ul> <p><b>Difusión y capacitación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Programa de Educación ambiental intercultural dirigido a docentes y asistentes de la educación de la comuna de Toltén.</li> <li>▪ Festival de las Aves Costa Araucanía versiones I el año 2021, II el año 2022 y III el año 2023.</li> <li>▪ Concursos literario infantil “Al rescate de relatos ancestrales” año 2020 y 2021</li> <li>▪ Instalación de módulo informativo sobre humedales del río Queule.</li> <li>▪ Visitas pedagógicas al humedal con la Escuela Puralaco de Toltén.</li> <li>▪ Capacitación a Municipios de la región en cuanto a Humedales Urbanos y guía de denuncias.</li> <li>▪ Capacitaciones a usuarios PRODESAL sobre Guía buenas prácticas silvoagropecuarias</li> <li>▪ Curso teórico-práctico para Guías de Aviturismo.</li> <li>▪ Reunión de trabajo con mesa indígena que agrupa 11 comunidades del territorio.</li> <li>▪ Capacitaciones en técnica de vellón agujado a artesanas de la comuna.</li> <li>▪ Apoyo en la creación de Cooperativa de Trabajo “Manos de Toltén” que agrupa a artesanas de diversos sectores de la comuna de Toltén.</li> </ul>

- Plan estratégico a nivel local para el desarrollo de cadenas de valor (turismo, agrícola, pesca, artesanía, etc), que contribuyan al uso sostenible de los humedales del río Queule de la comuna de Toltén.
- Capacitación a profesionales encargados de medio ambiente de los cinco Municipios del borde costero de la región de La Araucanía.
- Intercambio de experiencias “Queules para Queule” GEF Especies Amenazadas y GEF Humedales Costeros.
- Instalación de señalética sobre biodiversidad local en refugios peatonales de la ruta Toltén-Queule.
- Material educativo sobre aves playeras y costeras, peces nativos de humedales costeros y macroinvertebrados bentónicos.

Partes interesadas	Monitoreo Ambiental
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ SEREMI de Medio Ambiente, Región de La Araucanía</li> <li>▪ Municipalidad Toltén</li> <li>▪ Cámara de Turismo Queule</li> <li>▪ Armada de Chile, Región de La Araucanía</li> <li>▪ Corporación Nacional Forestal (CONAF), Región de La Araucanía</li> <li>▪ Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), Región de La Araucanía</li> <li>▪ Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI), Región de La Araucanía</li> <li>▪ Agencia Sustentabilidad y Cambio, Región de La Araucanía</li> <li>▪ Dirección General de Aguas (DGA), Región de La Araucanía</li> <li>▪ Comisión Nacional de Riego (CNR), Región de La Araucanía</li> <li>▪ Sindicato de Pescadores</li> <li>▪ Sindicato de pescadores y buzos</li> <li>▪ Sindicato pescadores y mariscadores</li> <li>▪ Grupo Ecológico Newen</li> </ul>	<p>3. El monitoreo de calidad de agua se realiza en 11 estaciones de monitoreo distribuidas en los ríos Queule, Boroa, Boldo y lagunas Tromén y Patagua, con mediciones de parámetros in situ (pH, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales disueltos, salinidad, y temperatura), con una frecuencia de monitoreo mensual. El programa de monitoreo presenta datos desde primavera de 2021 a invierno de 2024.</p> <p>4. El monitoreo de biodiversidad en las 11 estaciones de monitoreo, con registros de avifauna, ictiofauna, y macrofauna bentónica, con campañas semestrales. El programa de monitoreo presenta datos desde primavera de 2021 a verano de 2024.</p>
Responsable	
Proyecto GEF Humedales Costeros	
Referencias	

1. Extraído de MMA-ONU Medio Ambiente. 2022. Informe Final “Plan de Gestión Integral para la cuenca del río Queule y sus humedales en la comuna de Toltén”. Elaborado por Laboratorio de Planificación Territorial, Universidad Católica de Temuco. Santiago, Chile. 101p. Revisado en <https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/07/Plan-de-Gestion-Integral-de-la-Cuenca-del-rio-Queule.pdf>
2. Extraído de Delimitación de los humedales de Queule e identificación de áreas prioritarias a restaurar para la cuenca del Río Queule (2021). Consultora Edáfica. Revisado en <https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/05/INFORME-FINAL-DELIMITACION-Y-RESTAURACION-QUEULE.pdf>
3. Extraído de Proyecto GEF Humedales Costeros – Ecosistemas Piloto. Revisado en <https://gefhumedales.mma.gob.cl/proyecto-gef-humedales-costeros/ecosistemas-piloto/>
4. Registros fotográficos especies, extraído de plataformas eBird <https://ebird.org/species/> y iNaturalist <https://inaturalist.mma.gob.cl/>
5. Extraído de Suazo, M. 2024. Informe de muestreo de macroinvertebrados bentónicos. Humedal del Río Elqui. 2024. [https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/05/Informe-MIB-Queule-Marzo-2024\\_verano.pdf](https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/05/Informe-MIB-Queule-Marzo-2024_verano.pdf)
6. Extraído de Colín, N. 2024. Evaluación espaciotemporal de la fauna íctica del humedal del río Queule. <https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/08/Evaluacion-espacio-temporal-de-la-fauna-ictica-del-humedal-del-rio-Queule-.pdf>

#### 4.4 Humedal Río Elqui

En la **Figura 1** se presenta el diseño de monitoreo del programa de monitoreo del humedal del río Elqui, que contempla 14 estaciones distribuidas a lo largo de la parte baja de la cuenca del río Elqui. Las estaciones de monitoreo se distribuyen de la siguiente manera: Elq\_1 a Elq\_5 en la zona alta, Elq\_6 a Elq\_9 y N3 en la zona media, y Elq\_10 a Elq\_13 en la zona baja del área estudiada. El programa de monitoreo ambiental abarcó el análisis de una serie de parámetros, incluyendo tanto aquellos fisicoquímicos recolectados en terreno como los analizados en laboratorio. Además, se realizó el monitoreo de la biota, que incluyó fitobentos, macroinvertebrados bentónicos, anfibios, ictiofauna, quirópteros y avifauna.



**Figura 1.** Estaciones de monitoreo ambiental del Humedal del Río Elqui. Polígono extraído del Expediente de Humedal Urbano N° HU-0085. Coordenadas en UTM. Datum WGS84, Huso 19H. Elaboración propia.

#### 4.4.1 Calidad de agua parámetros *in situ*

##### 4.4.1.1 Estadística descriptiva

El análisis de la estadística descriptiva para los parámetros medidos en el Humedal de Río Elqui, registrados por diversas organizaciones (como GEF Humedales, MHA, CEAZA, entre otros), revela que ninguno de los parámetros presenta un coeficiente de variación igual a cero (**Tabla 6**). De los siete parámetros físico-químicos cuantificados, solo dos muestran coeficientes de variación superiores al 100%: el oxígeno disuelto (OD) con un 268% y la salinidad (Sal) con un 753%. Estos resultados indican una alta dispersión de los valores de estos parámetros en relación con su media, reflejando una variabilidad significativa en las mediciones, lo que podría atribuirse a factores como condiciones ambientales cambiantes o incertidumbres derivadas de las metodologías de monitoreo. Por su parte, el test de Shapiro-Wilk para el parámetro de temperatura arrojó un valor de 0,989 con un valor-p de 0,279 (**Tabla 6**), lo que indica que los datos de temperatura siguen una distribución normal. Además, el valor de Shapiro-Wilk, cercano a 1, refuerza esta interpretación, por lo que se puede asumir que los datos de temperatura no presentan desviaciones significativas respecto a la normalidad.

**Tabla 6.** Estadística descriptiva para parámetros físico-químicos medidos en columna de agua. Nobs: número de observaciones, min =mínimo, max =máximo, prom =promedio, desvest =desviación estándar, cv% =coeficiente de variación, shapiro-wilk = estadístico W de la prueba Shapiro-Wilk, valor-p = valor-p de la prueba Shapiro-Wilk. CE: Conductividad Eléctica; OD: Oxígeno disuelto; OD Sat: Saturación oxígeno disuelto; SDT: Sólidos Disueltos Totales; Sal: Salinidad; T: Temperatura. Elaboración propia.

Sigla	Nobs	min	max	prom	desvest	<sup>1</sup> cv%	shapiro-wilk	<sup>2</sup> valor-p
CE	156	0,03	4137.00	947.08	833.29	88%	0,886	0,000
OD	124	0,00	1310,50	74.90	200,9	<b>268%</b>	0,420	0,000
OD Sat	133	0,30	140,10	38.75	36.83	95%	0,869	0,000
pH	164	6.64	8.83	7.85	0,47	6%	0,969	0,001
SDT	137	0,00	1791.00	636.57	342.82	54%	0,868	0,000
Sal	117	0,03	186.00	2.28	17.14	<b>753%</b>	0,077	0,000
T	145	12.10	28.94	19.76	3.71	19%	0,989	<b>0,279</b>

<sup>1</sup> Se destacan en negrita los valores de coeficientes de variación mayores o iguales al 100%.

<sup>2</sup> Se destacan en negrita los valores de *p* del test Shapiro-Wilk mayores o iguales a 0,05.

#### 4.4.1.2 Análisis por sitio de monitoreo

La conductividad eléctrica (**Figura 2**) presenta variaciones entre los diferentes sitios de monitoreo, con los niveles más altos registrados en el sitio Elq\_2, ubicado en la parte alta de la zona de monitoreo, alcanzando un valor máximo de 4137 uS/cm durante la campaña de enero de 2022. En las demás campañas de monitoreo, la zona baja muestra los valores parciales más elevados, principalmente en los sitios Elq\_13 y Elq\_12, sobresaliendo los niveles registrados en septiembre de 2023.

Las concentraciones de oxígeno disuelto (**Figura 3**) muestran niveles bajos durante los periodos de monitoreo de 2021, 2022 y 2024, con un rango que varía desde un máximo de 18mg/l hasta valores mínimos cercanos a la anoxia (~0,0mg/l). Sin embargo, en la campaña de 2023, las concentraciones de oxígeno disuelto superan los 1000mg/l, excediendo el límite que indica la detección de valores atípicos (línea punteada roja), y superando ampliamente los valores máximos esperados para este parámetro en condiciones naturales.

Cabe destacar que esta detección de valores atípicos fue realizada utilizando el método del percentil, donde se definió un rango esperado basado en el rango intercuartílico (IQR). Por lo tanto, los valores que se encontraban fuera del rango delimitado fueron considerados atípicos. Es importante señalar que estos valores anómalos pueden estar relacionados con incertidumbres derivadas de los métodos de monitoreo, ocasionando registros fuera del rango estándar de oxígeno disuelto en cuerpos acuáticos.

La saturación de oxígeno (**Figura 4**) presentó diferencias entre campañas de monitoreo, exhibiendo mayores niveles durante la campaña de febrero del 2023, alcanzando su máximo registro en el sitio de monitoreo Elq\_13 (parte baja de la zona de monitoreo) con un valor de 140,1mg/l. En términos temporales, el año 2023 presentó, en términos generales, mayores niveles de saturación de oxígeno en comparación con 2022 y 2024, que presentaron datos de monitoreo parcial.

Por su parte, el pH (**Figura 5**) se mantuvo estable entre los distintos sitios y campañas de monitoreo, presentando una variación entre 6,64 y 8,83. El máximo nivel se presentó en el sitio Elq\_3 (parte alta de la zona de monitoreo) durante la campaña de octubre de 2023.

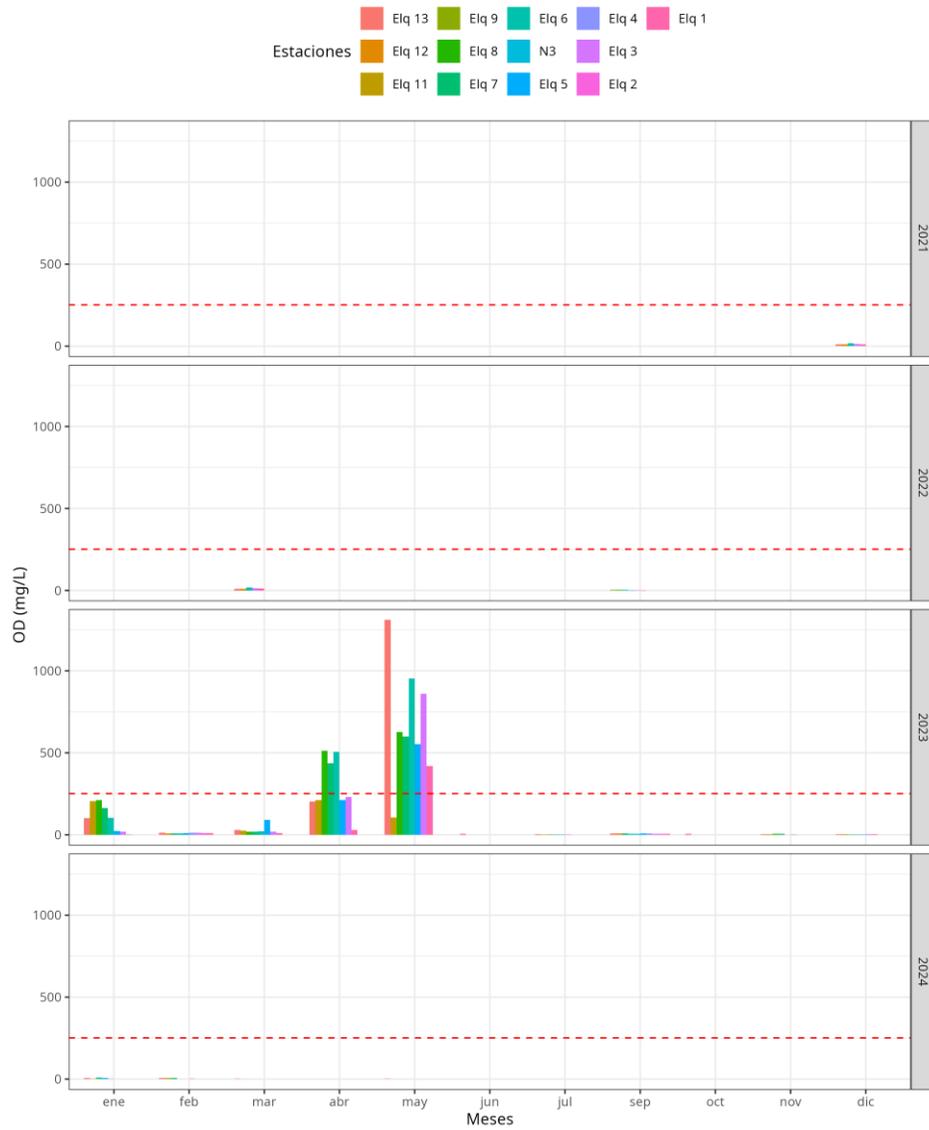
La salinidad (**Figura 6**) exhibió valores moderados en prácticamente todos los sitios de monitoreo, a excepción de Elq\_3 en la campaña de enero de 2022, donde se presentó un valor máximo de 186 PSU, superando el límite que indica la detección de valores atípicos (línea punteada roja). El resto de las mediciones fueron inferiores a 2,19 PSU para todos los sitios de monitoreo.

Los sólidos disueltos totales (**Figura 7**) mostraron, en términos generales, mayores concentraciones en el sitio Elq\_13 (parte baja), y se mantuvo relativamente estable a lo largo de los meses muestreados. No obstante, registró un valor máximo en la campaña de enero de 2022 en el sitio de monitoreo Elq\_1 (parte alta), con un valor de 1791mg/l.

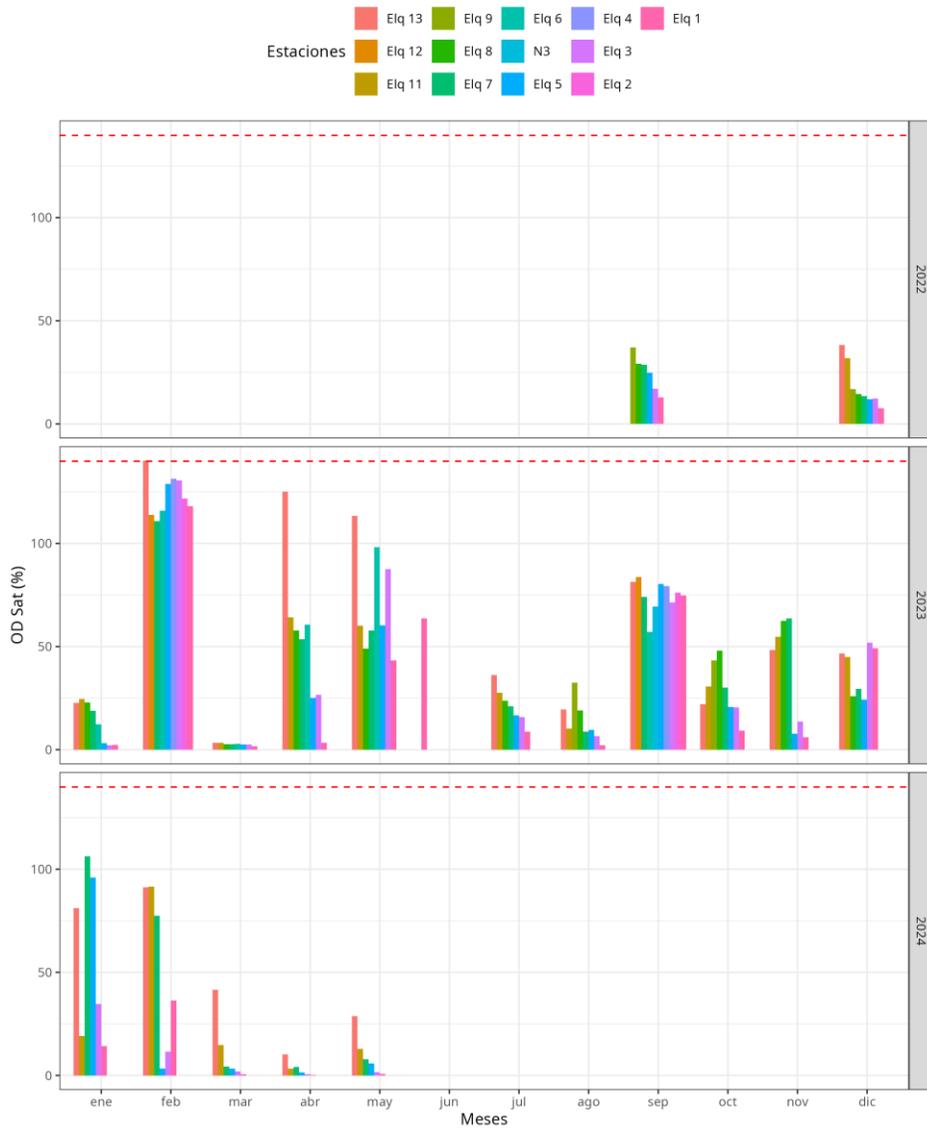
Finalmente, La temperatura (**Figura 8**), presentó una variabilidad alta entre las campañas de monitoreo. A nivel temporal, los menores niveles se registraron en los meses de invierno, principalmente en mayo, junio y julio, registrando la menor temperatura en el sitio Elq\_3 con 12,1°C. En contraste la mayor temperatura se registró en Elq\_13 (parte baja), con un registro máximo de 28,94°C en la campaña de diciembre de 2023, siguiendo un claro patrón estacional.



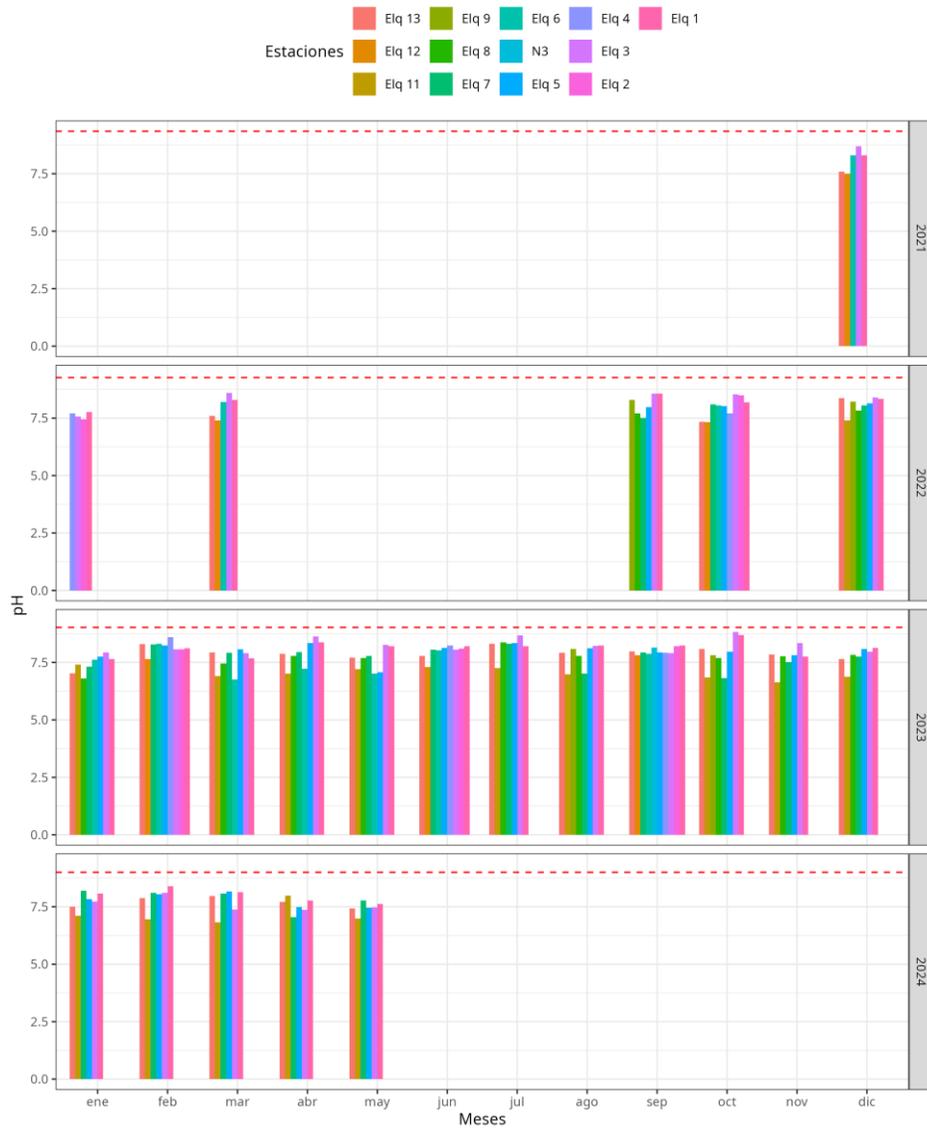
**Figura 2.** Conductividad Eléctrica (CE) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



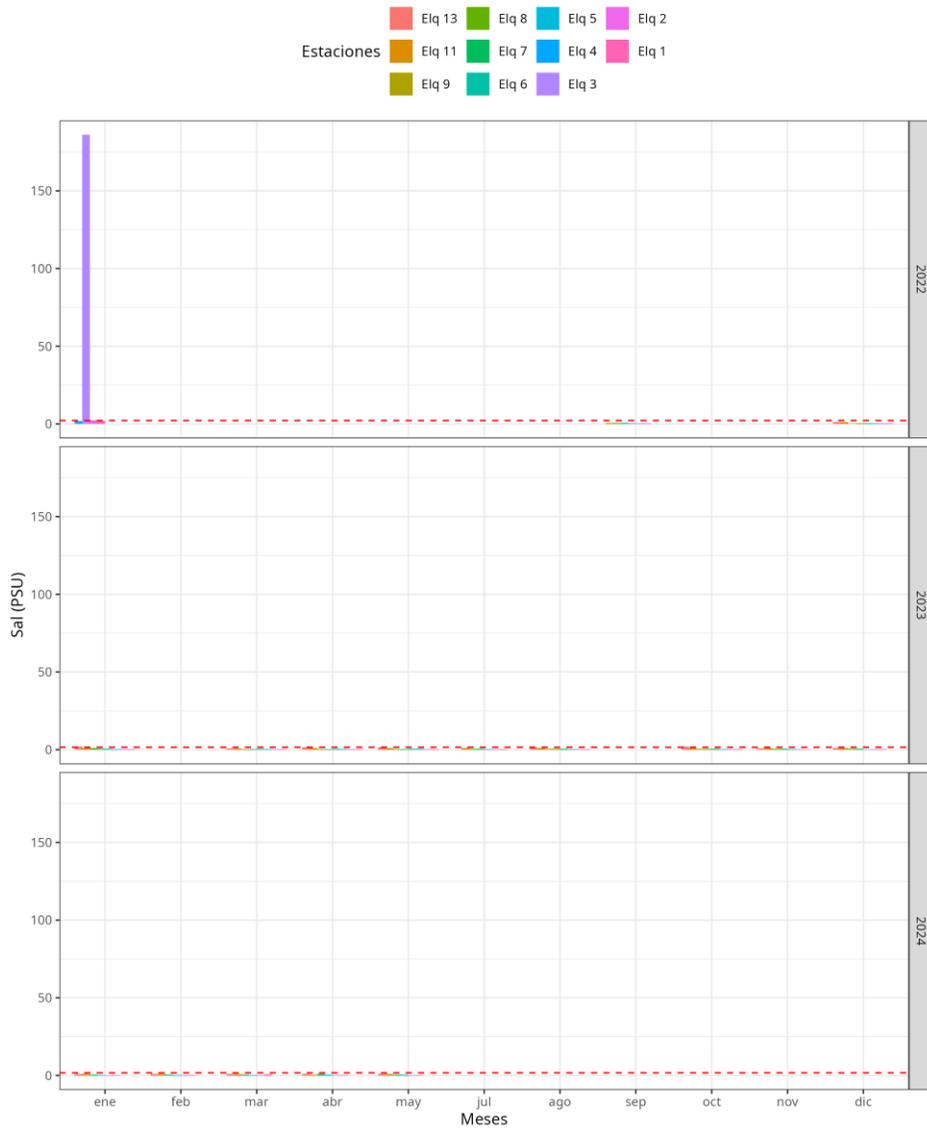
**Figura 3.** Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular.



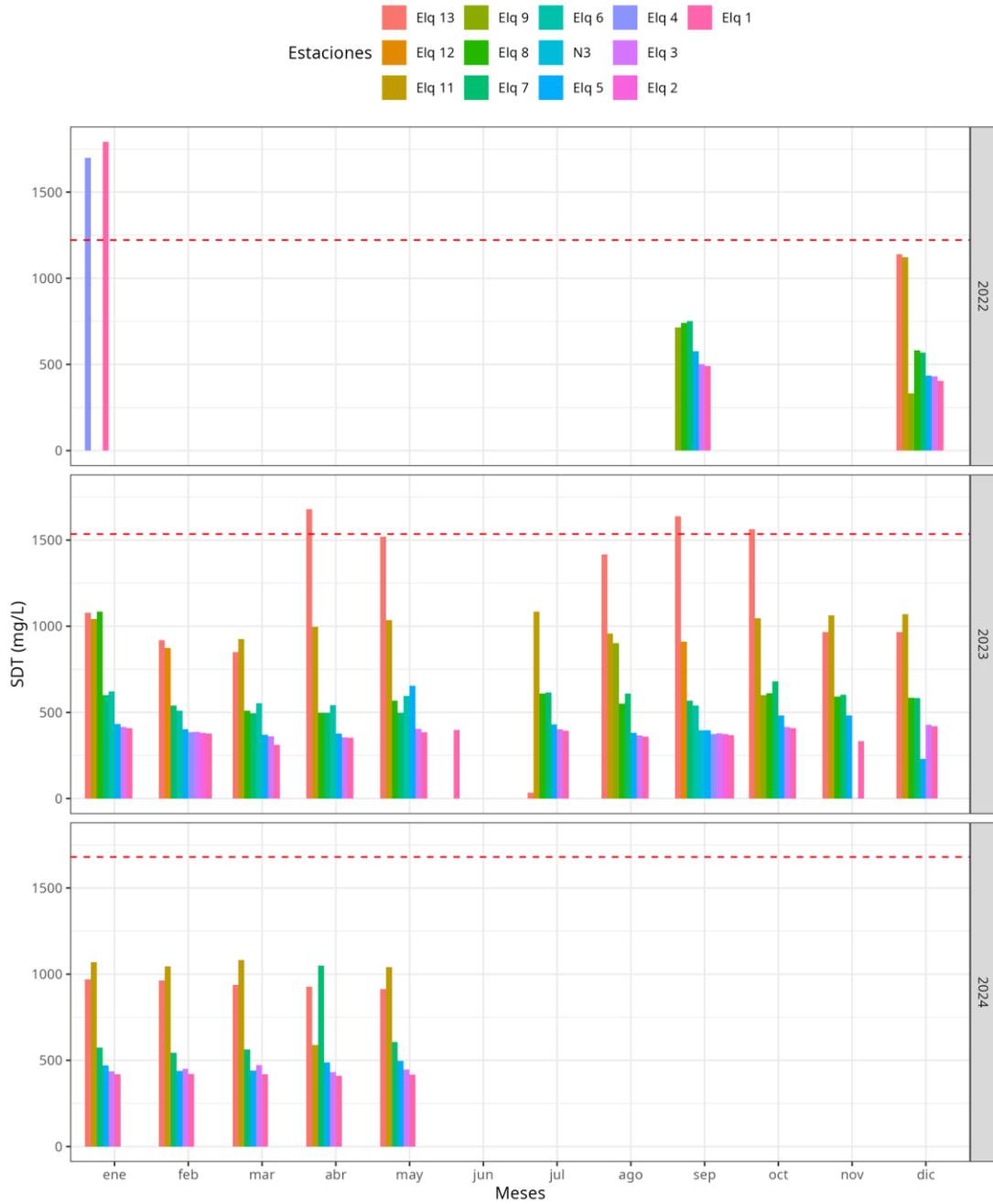
**Figura 4.** Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD Sat) cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



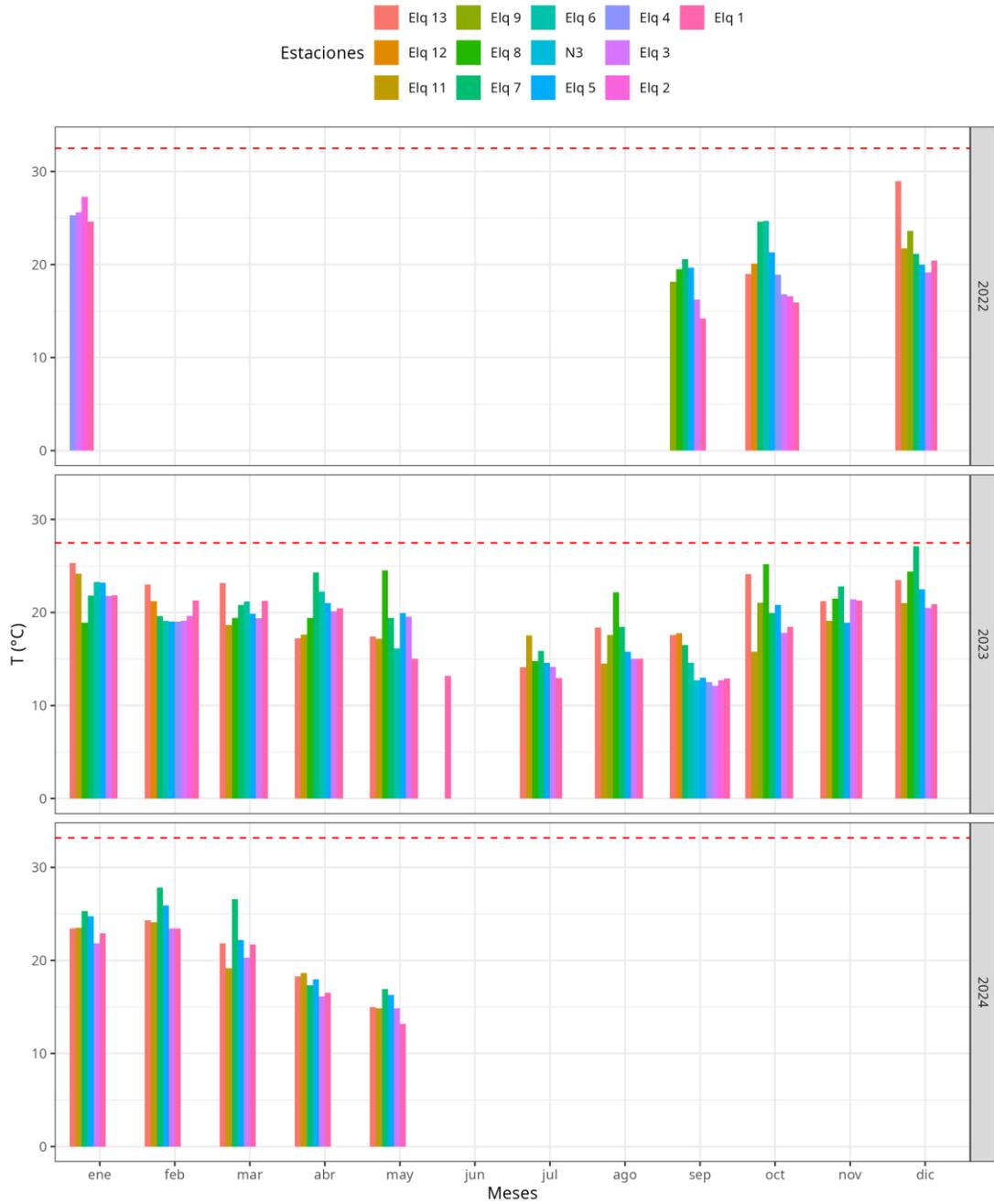
**Figura 5.** Valor de pH cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



**Figura 6.** Salinidad (Sal) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.

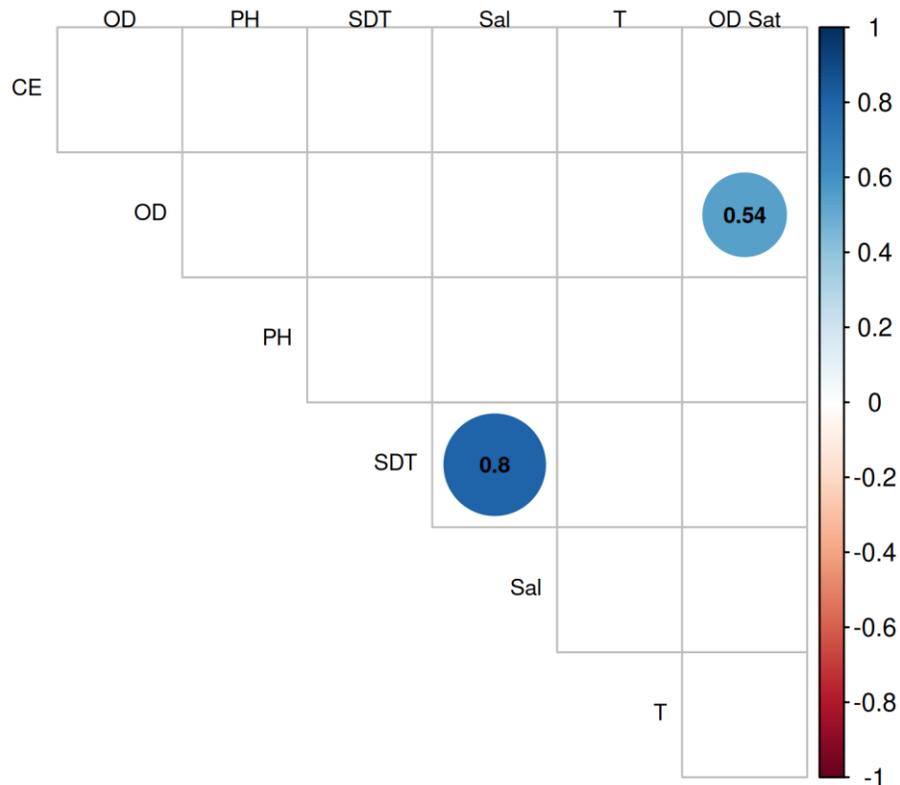


**Figura 7.** Concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



**Figura 8.** Temperatura (T) medida en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.

El análisis de correlaciones múltiples pareadas (**Figura 9**) revela que existen dos pares de parámetros fisicoquímicos que presentan correlaciones estadísticamente significativas positivas (círculos azules): oxígeno disuelto – saturación de oxígeno (0,54), y salinidad – sólidos disueltos totales (0,8). No se presentaron correlaciones estadísticamente significativas negativas.

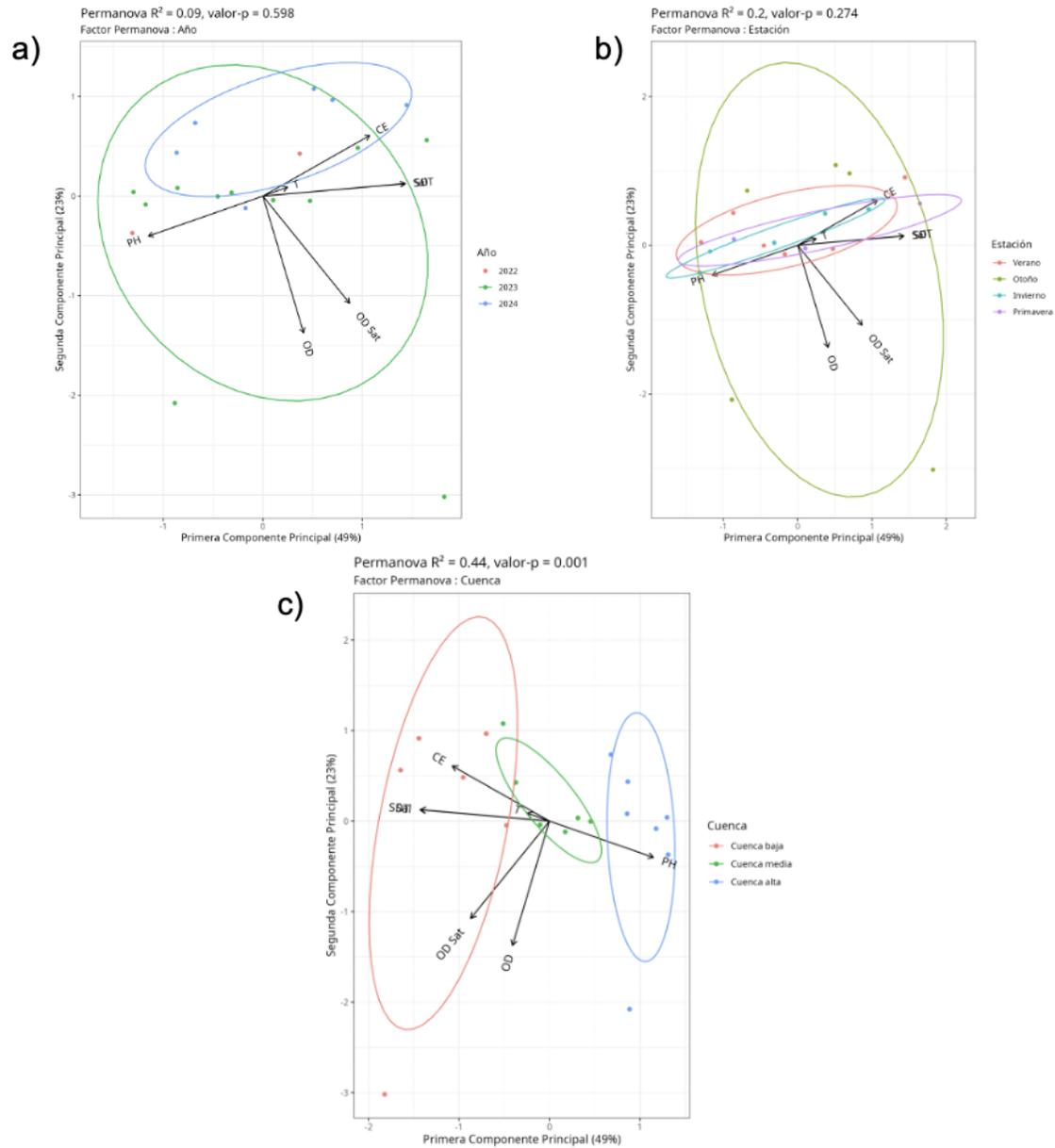


**Figura 9.** Correlograma para los parámetros medidos en la columna de agua que mostraron coeficientes de variación mayores a 0%. Se muestran solo las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. La escala de colores indica el sentido y nivel de correlación (coeficiente de correlación de Spearman dentro de cada círculo). Valores de correlación positivos están representados por tonos azules, mientras valores negativos están reportado en tonos rojos. Elaboración propia.

#### 4.4.1.3 Análisis multivariado

Dada la notable presencia de valores atípicos, especialmente en los registros del parámetro de oxígeno disuelto, se realizaron análisis de componentes principales (PCA) excluyendo los datos identificados como *outliers*. Este análisis se aplicó a los parámetros medidos, con el objetivo de evaluar patrones y tendencias. En la **Figura 10**, se presenta un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros fisicoquímicos medidos en la columna de agua, donde las elipses muestran un intervalo de confianza del 95% para los puntajes agrupados según: a) Año, b) Estación climática, y c) Zonas de monitoreo. El PCA indica que la primera componente principal (PC1) explica el 23% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) explica el 49%. Esto sugiere que las dos dimensiones capturan una proporción moderada de la variabilidad en los datos.

La **Figura 10a** presenta el PCA en el que se consideraron las campañas de monitoreo como factor explicativo de la diferenciación entre parámetros ( $R^2 = 0,09$ ; valor-p = 0,598), y muestra que para la campaña 2024 presenta los mayores niveles de conductividad (CE). La **Figura 10b** presenta el PCA en el que se consideraron las estaciones de monitoreo como factor explicativo ( $R^2 = 0,2$ ; valor-p = 0,274), y no se observa una clara diferenciación entre las estaciones del año. Por otro lado, la **Figura 10c** que tiene como factor explicativo las zonas de monitoreo ( $R^2 = 0,44$ ; valor-p = 0,001), muestra una mayor diferenciación (elipses solapadas) en la concentración de parámetros, donde la zona baja de la zona monitoreada presenta mayores niveles de conductividad, sólidos disueltos, y saturación de oxígeno, mientras que la parte alta se caracteriza por los mayores niveles de pH.



**Figura 10.** Análisis de componentes principales (PCA) para los valores de los parámetros bajo el límite de detección de puntos atípicos. Las elipses representan el 95% de confianza para los puntajes agrupados por a) Año, b) Estación climática, y c) Cuenca. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Elaboración propia.

#### 4.4.2 Calidad de agua parámetros de laboratorio

##### 4.4.2.1 *Estadística descriptiva*

El análisis de la estadística descriptiva para los parámetros analizados en laboratorio, revela que tres parámetros presentan un coeficiente de variación igual a cero (Cianuro total, demanda biológica de oxígeno, cromo hexavalente; **Tabla 7**). Entre los 38 parámetros físico-químicos cuantificados, 14 muestran coeficientes de variación superiores al 100%, siendo en su mayoría metales (11 parámetros, seguido de parámetros biológicos (coliformes fecales y totales) y nutriente (fósforo total). Estos resultados indican una alta dispersión de los valores de estos parámetros en relación con su media, reflejando una variabilidad significativa en las mediciones, lo que podría atribuirse a factores como condiciones ambientales cambiantes o incertidumbres derivadas de las metodologías de monitoreo. Por su parte, los resultados del test de Shapiro-Wilk (SW) para Boro Total (SW = 0,927, p = 0,135), Molibdeno Total (SW = 0,933, p = 0,173) y Selenio Total (SW = 0,964, p = 0,627) muestran que los valores p son superiores a 0,05, lo que indica que los datos de los tres parámetros se distribuyen normalmente.

**Tabla 7.** Estadística descriptiva para parámetros de laboratorio medidos en columna de agua. Nobs: número de observaciones, min =mínimo, max =máximo, prom =promedio, desvest =desviación estándar, cv% =coeficiente de variación, shapiro-wilk = estadístico W de la prueba Shapiro-Wilk, valor-p = valor-p de la prueba Shapiro-Wilk. Elaboración propia.

Sigla	Nobs	min	max	prom	desvest	<sup>1</sup> cv%	shapiro-wilk	<sup>2</sup> valor-p
Ag Tot	20	0,0005	0,0050	0,001	0,002	<b>137%</b>	0,452	0,000
AIT	20	0,0110	28.3000	1.654	6.300	<b>381%</b>	0,278	0,000
As Tot	20	0,0039	0,1097	0,015	0,023	<b>151%</b>	0,440	0,000
B Tot	20	0,2240	0,8630	0,589	0,166	28%	0,927	<b>0,135</b>
Ca Tot	20	111.0000	219.0000	146.150	37.928	26%	0,779	0,000
Cd Tot	20	0,0001	0,0009	0,000	0,000	<b>145%</b>	0,459	0,000
Cl	20	33.5000	812.0000	126.630	191.811	<b>151%</b>	0,549	0,000
Clor A	20	1.6000	15.5000	2.696	3.338	<b>124%</b>	0,385	0,000
CN Tot	20	0,0400	0,0400	0,040	0,000	0%	NA	NA
Co Tot	20	0,0001	0,0137	0,002	0,003	<b>130%</b>	0,671	0,000
Col Fec	20	7.0000	920,0000	146.650	209.055	<b>143%</b>	0,640	0,000
Col Tot	21	1.6000	3500,0000	400,705	791.177	<b>197%</b>	0,508	0,000
COT	20	0,4300	2.4100	0,913	0,533	58%	0,811	0,001
Cr(VI)	20	0,0180	0,0180	0,018	0,000	0%	NA	NA
Cu Tot	20	0,0013	0,0885	0,015	0,023	<b>151%</b>	0,563	0,000
DBO5	20	2.0000	2.0000	2.000	0,000	0%	NA	NA
DQO	20	5.0000	9.5000	6.350	1.599	25%	0,778	0,000

Sigla	Nobs	min	max	prom	desvest	<sup>1</sup> cv%	shapiro-wilk	<sup>2</sup> valor-p
Fe Tot	20	0,0360	24.2000	1.690	5.374	<b>318%</b>	0,327	0,000
HCO3	20	131.0000	269.0000	191.250	53.217	28%	0,829	0,002
Hg Tot	20	0,0001	0,0002	0,000	0,000	23%	0,236	0,000
K Tot	20	3.3600	19.3000	6.185	4.639	75%	0,588	0,000
Mg Tot	20	20,9000	91.9000	35.345	21.390	61%	0,696	0,000
Mn Tot	20	0,0029	1.1210	0,106	0,251	<b>236%</b>	0,436	0,000
Mo Tot	20	0,0005	0,0073	0,003	0,002	50%	0,933	<b>0,173</b>
N-NO2	20	0,0200	0,0500	0,023	0,008	35%	0,441	0,000
N-NO3	20	0,0500	6.4300	1.647	1.537	93%	0,762	0,000
Na Tot	20	46.8000	420,0000	108.645	114.186	<b>105%</b>	0,579	0,000
Ni Tot	20	0,0003	0,1555	0,053	0,055	<b>103%</b>	0,814	0,001
NO2	20	0,0300	0,1600	0,052	0,039	76%	0,621	0,000
NO3	20	0,2000	28.5000	7.296	6.817	93%	0,763	0,000
NT	20	1.0000	7.6900	2.205	1.863	84%	0,676	0,000
NTK	20	0,5000	2.0500	0,830	0,358	43%	0,665	0,000
Pb Tot	20	0,0003	0,0217	0,002	0,005	<b>271%</b>	0,347	0,000
PO4	20	0,0500	0,5000	0,410	0,185	45%	0,495	0,000
PT	20	0,0050	0,5390	0,032	0,119	<b>377%</b>	0,236	0,000
Se Tot	20	0,0018	0,0068	0,004	0,001	32%	0,964	<b>0,627</b>
SO4	20	240,0000	424.0000	295.400	64.912	22%	0,796	0,001
Zn Tot	20	0,0050	0,0710	0,011	0,017	<b>158%</b>	0,387	0,000

<sup>1</sup> Se destacan en negrita los valores de coeficientes de variación mayores o iguales al 100%.

<sup>2</sup> Se destacan en negrita los valores de  $p$  del test Shapiro-Wilk mayores o iguales a 0,05.

#### 4.4.2.2 Análisis por sitio de monitoreo

En cuanto a las concentraciones de metales, se observa una notable variabilidad temporal en los parámetros de Plata Total, Aluminio Total, Arsénico Total y Boro Total (**Figura 11**). En particular, el arsénico total muestra una mayor concentración durante la campaña de octubre de 2022 en el sitio de monitoreo Elq\_4 (parte alta de la zona de monitoreo). Por otro lado, el aluminio alcanza su concentración máxima en el sitio Elq\_6 (parte media de la zona de monitoreo) durante la campaña de septiembre de 2023.

Los parámetros Calcio Total, Cadmio Total, Cloro y Clorofila A (**Figura 12**) presentan una tendencia similar entre las campañas de monitoreo. En particular, las mayores concentraciones de Calcio se observan en la parte baja de la zona de monitoreo, en los sitios Elq\_13 y Elq\_12, durante las campañas de octubre de 2022 y septiembre de 2023. Los niveles más altos de

Cadmio se registraron en la campaña de octubre de 2022, especialmente en el sitio N3, ubicado en la parte media de la zona. El Cloro mostró mayores concentraciones en la parte baja, en los sitios Elq\_13 y Elq\_12, alcanzando su máxima concentración en la campaña de septiembre de 2023. De manera similar, la Clorofila A presentó sus niveles más altos en Elq\_13 (parte baja) durante ambas campañas de monitoreo, con un pico en octubre de 2023. En contraste, el resto de las estaciones mostraron niveles bajos para los parámetros de Cadmio, Cloro y Clorofila A.

Para los parámetros Cianuro Total, Cobalto Total, Coliformes Fecales y Coliformes Totales (**Figura 13**), se observa una mayor variabilidad en los datos registrados durante la campaña de octubre de 2022 y septiembre de 2023. En particular, el Cobalto muestra su mayor concentración en la estación Elq\_6 durante la campaña de 2023. Los Coliformes Fecales alcanzan su máxima concentración en la desembocadura del Río Elqui (sitio Elq\_13) durante la campaña de 2023, mientras que los Coliformes Totales también presentan sus valores más altos en el sitio Elq\_13, pero en la campaña de 2024.

Los parámetros Cromo Hexavalente y Demanda Bioquímica de Oxígeno (**Figura 14**) no muestran variación significativa ni espacial ni temporal en sus concentraciones. En contraste, el Carbono Orgánico Total (COT) alcanzó su mayor concentración en el sitio Elq\_13 durante la campaña de octubre de 2023. Por otro lado, el Cobre Total (Cu Tot) presentó sus mayores concentraciones en la parte media de la zona de monitoreo, específicamente en Elq\_7 durante la campaña de 2022 y en Elq\_6 durante la campaña de 2023.

Los niveles de los parámetros Demanda Química de Oxígeno (DQO), Hierro Total, Bicarbonatos y Mercurio Total (**Figura 15**) presentan variaciones temporales. En el caso de la DQO, los niveles registrados en la campaña de octubre de 2022 son superiores a los de la campaña siguiente (septiembre de 2023), alcanzando su máximo en el sitio de monitoreo N3. Por otro lado, el Hierro Total y el Mercurio Total alcanzaron sus concentraciones más altas durante la campaña de septiembre de 2024, en los sitios Elq\_6 y Elq\_3, respectivamente.

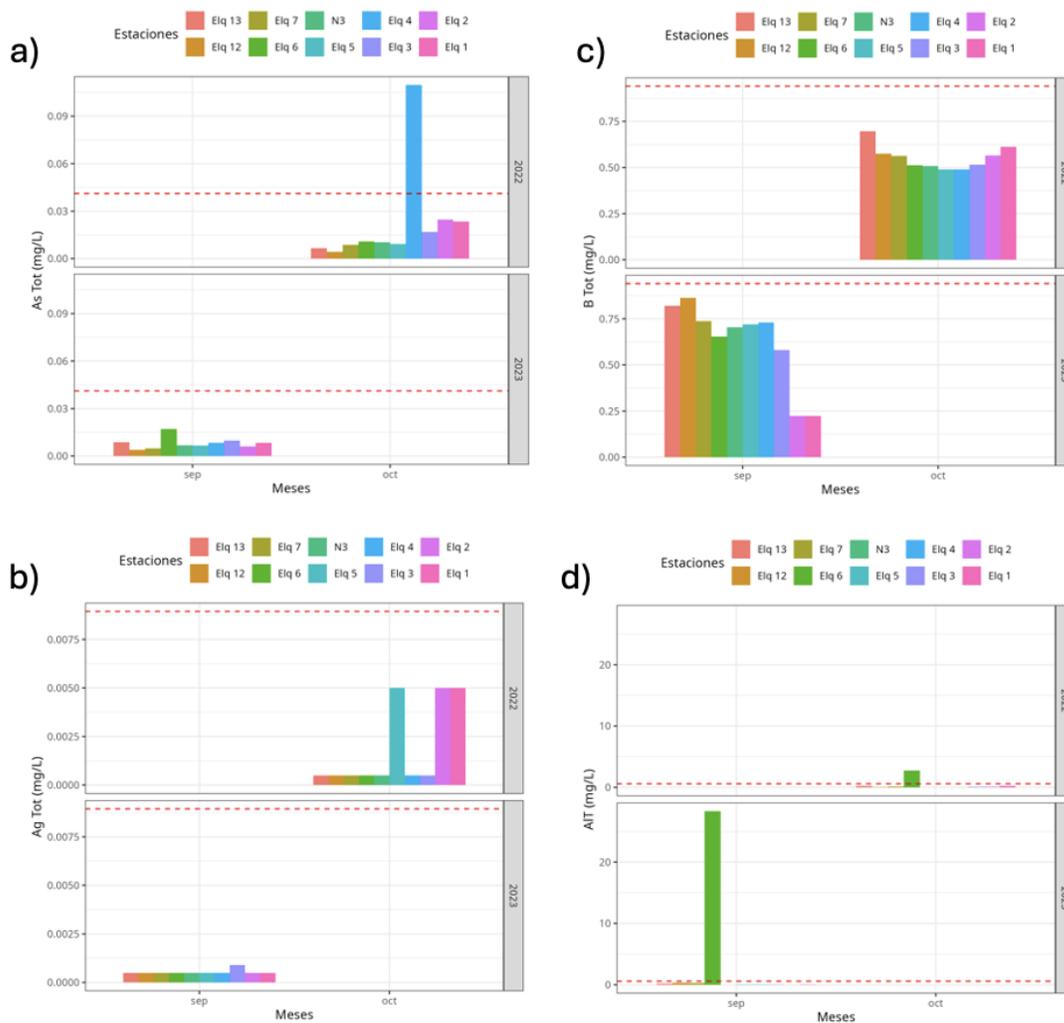
El Potasio Total y el Magnesio Total (**Figura 16**) muestran una tendencia consistente en los valores registrados durante las campañas de monitoreo de 2022 y 2023, alcanzando sus concentraciones máximas en los sitios Elq\_13 y Elq\_12, ubicados en parte baja, para ambos períodos. En contraste, el Manganeseo Total (Mn Tot) y el Molibdeno Total (Mo Tot) (**Figura 16**) presentan variaciones temporales en sus concentraciones. El Manganeseo Total alcanza su

máximo en la campaña de septiembre de 2023 en el sitio Elq\_6, mientras que el Molibdeno Total muestra su mayor concentración en la campaña de octubre de 2022 en los sitios Elq\_12 y Elq\_7.

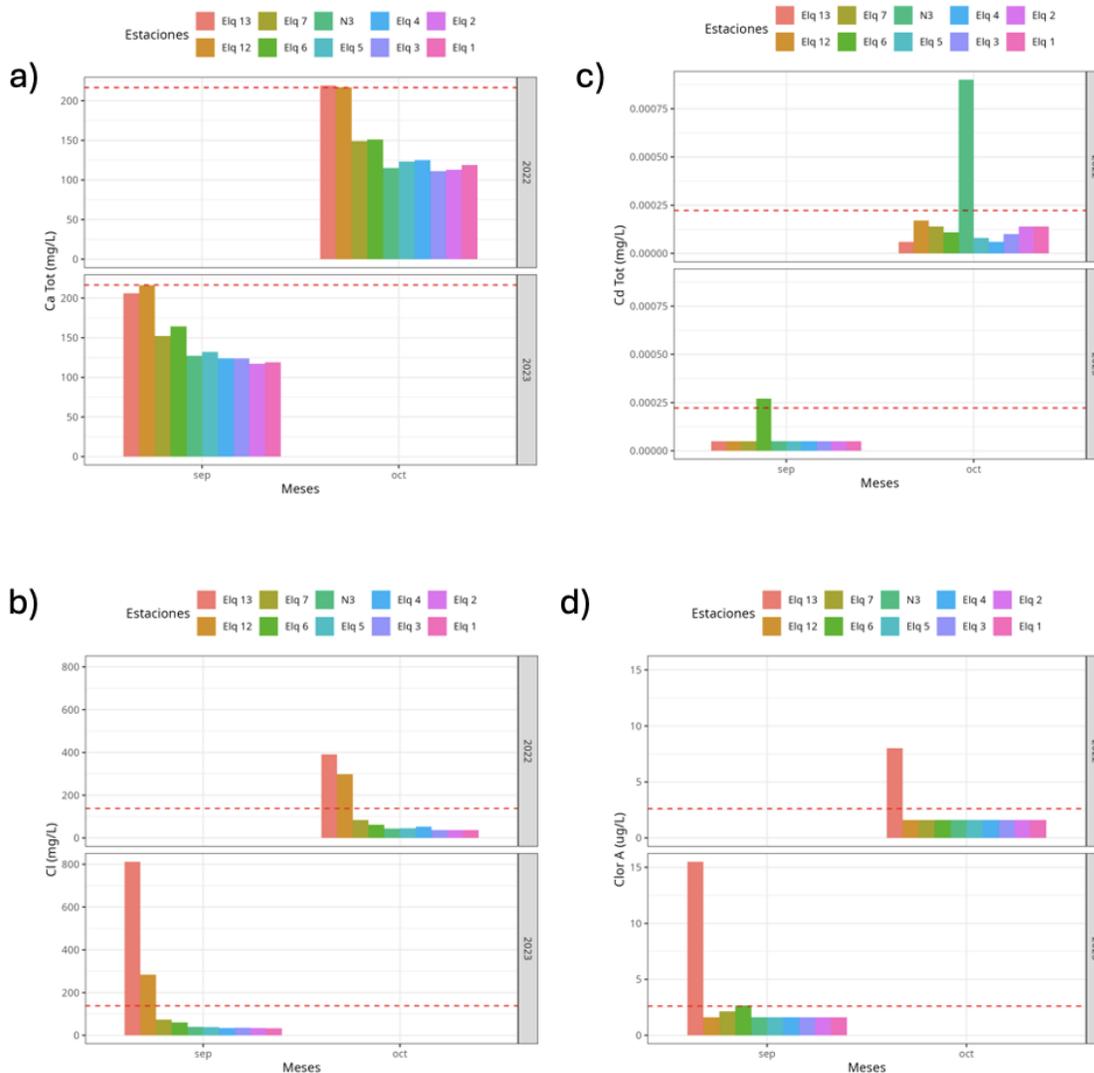
En relación con los nutrientes (**Figura 17**), los parámetros Nitrógeno de nitrito, Nitrógeno de nitrato, Nitritos y Nitratos muestran una tendencia general similar entre las campañas de monitoreo de 2022 y 2023. Las concentraciones más altas de nitritos se observan en la parte baja, específicamente en Elq\_12 durante la campaña de 2022 y en Elq\_7 durante la campaña de 2023. Por otro lado, el nitrato alcanza sus niveles más elevados en el sitio Elq\_6 en ambas campañas de monitoreo.

Los nutrientes Nitrógeno total y Nitrógeno total Kjeldahl (**Figura 18**) muestran una tendencia estable a lo largo del tiempo, alcanzando sus concentraciones más altas en el sitio de monitoreo Elq\_6 en todas las campañas. Por otro lado, el Sodio total y el Níquel total (**Figura 19**) presentan sus niveles más elevados en la parte baja de la zona de monitoreo, específicamente en los sitios Elq\_13 y Elq\_12 en ambas campañas. Sin embargo, en la campaña de septiembre de 2023 el Níquel muestra concentraciones más bajas en todos los sitios de monitoreo.

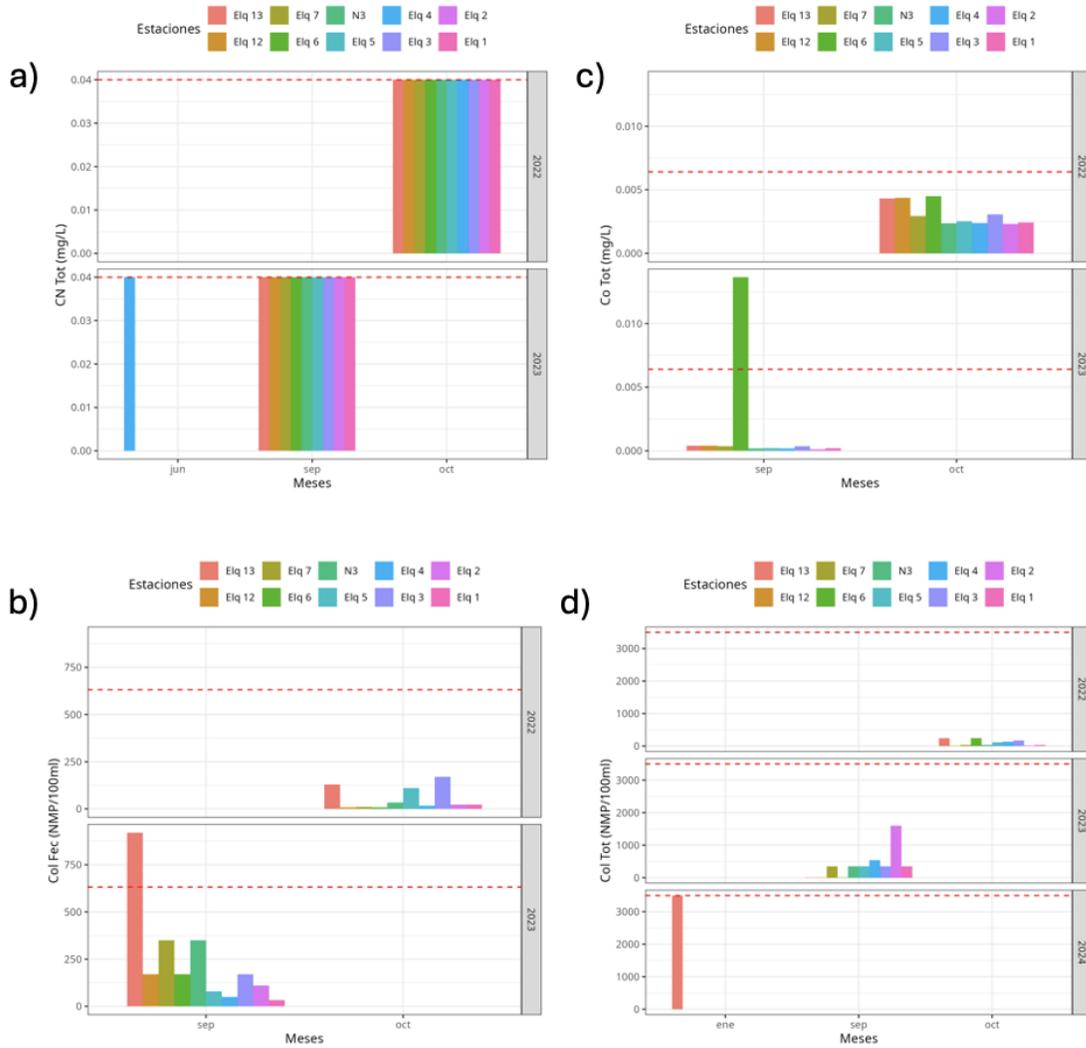
En relación con los parámetros Plomo total y Fósforo total (**Figura 20**), se observan diferencias estacionales en sus concentraciones. Ambos parámetros alcanzan sus niveles más altos en la estación Elq\_6 durante la campaña de septiembre de 2023. En contraste, los parámetros Fosfatos (PO<sub>4</sub>) y Selenio total (Se Tot) muestran una variación mínima entre las diferentes campañas de monitoreo.



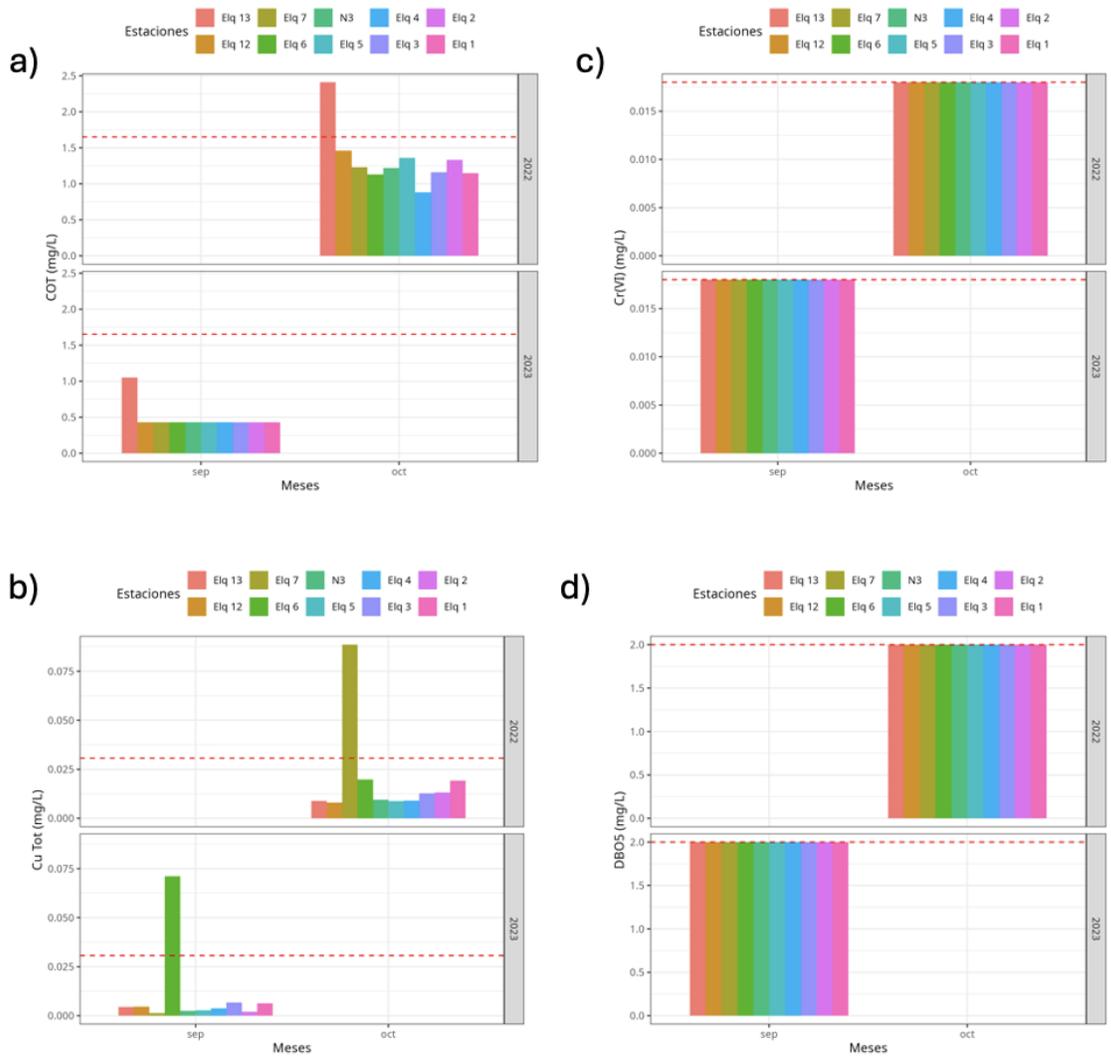
**Figura 11,** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Arsénico total (As Tot), b) Plata total (Ag Tot), c) Boro total (B Tot), y d) Aluminio total (AIT). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



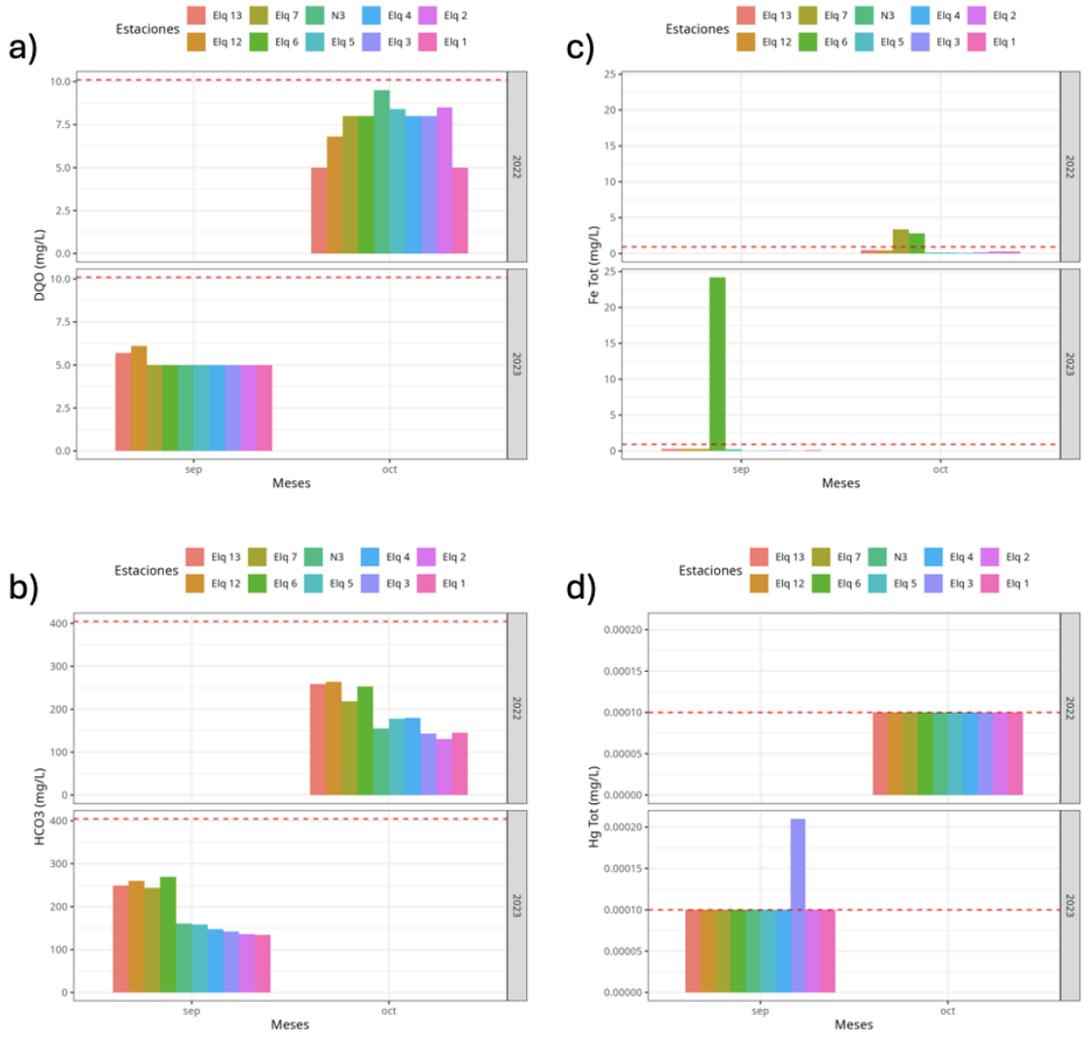
**Figura 12.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Calcio total (Ca Tot), b) Cloro (Cl), c) Cadmio total (Cd Tot), y d) Clorofila A (Clor A). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



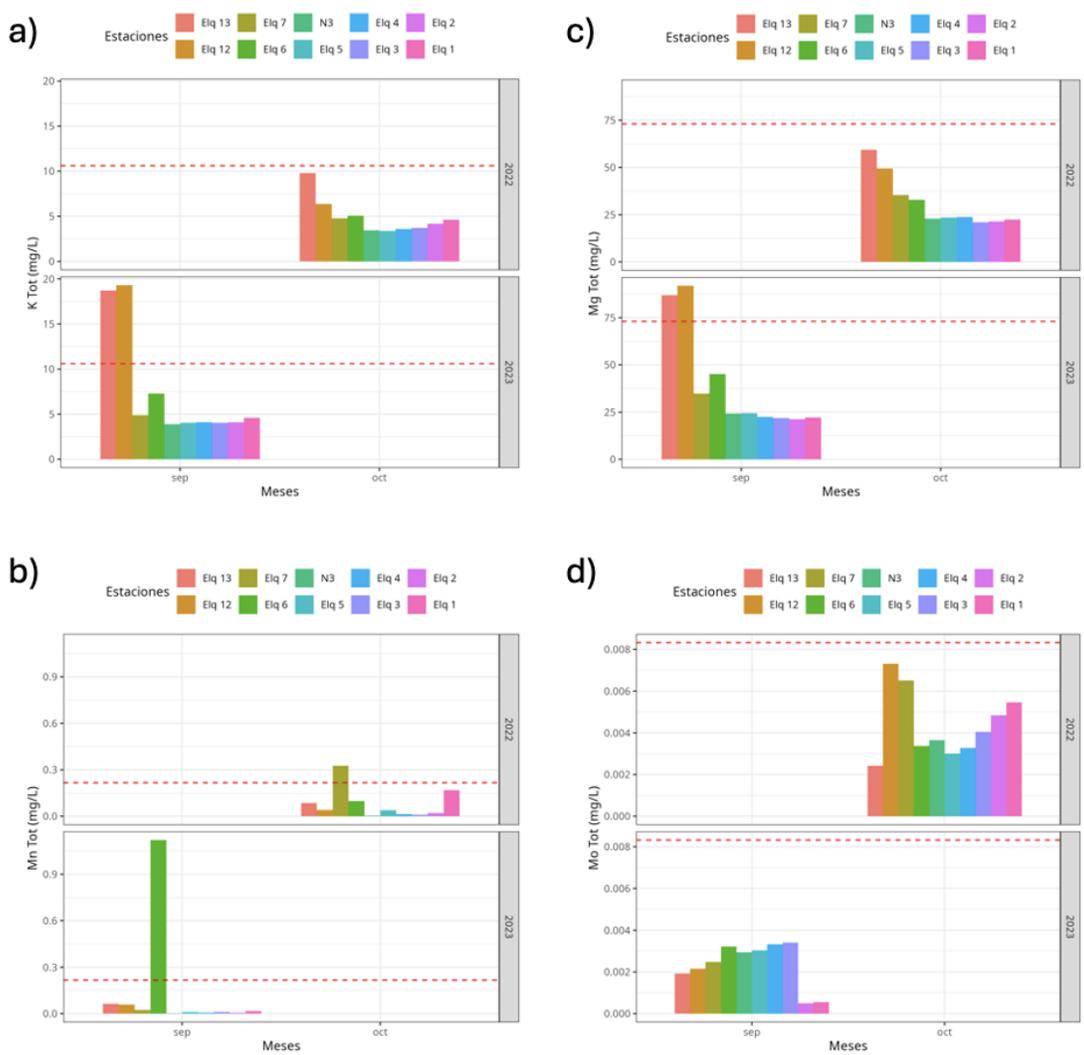
**Figura 13.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Cianuro total (CN Tot), b) Coliformes fecales (Col Fec), c) Coliformes totales (Col Tot), y d) Cobalto total (Co Tot). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



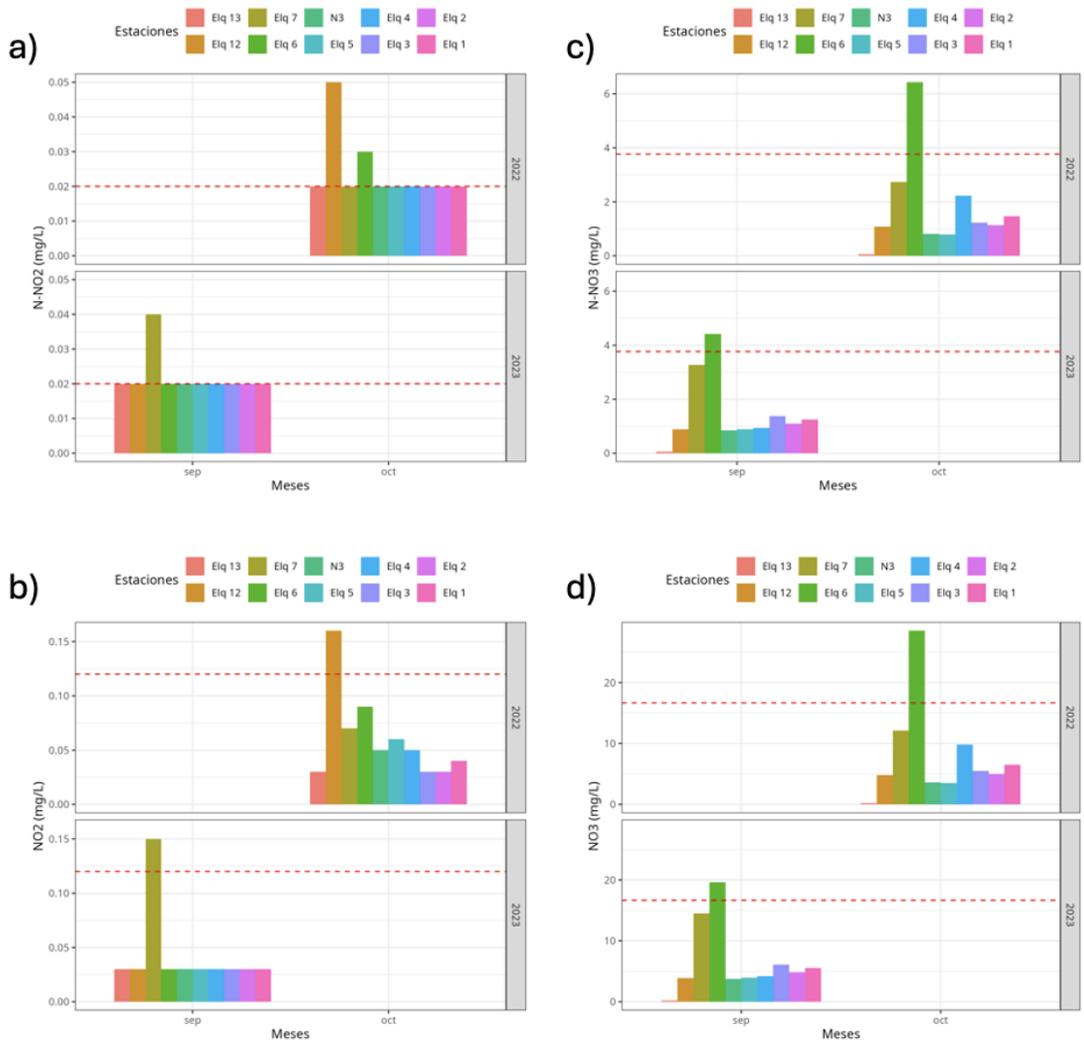
**Figura 14.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Carbono Orgánico total (COT), b) Cobre total (Cu Tot), c) Cromo hexavalente (Cr(VI)), y d) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



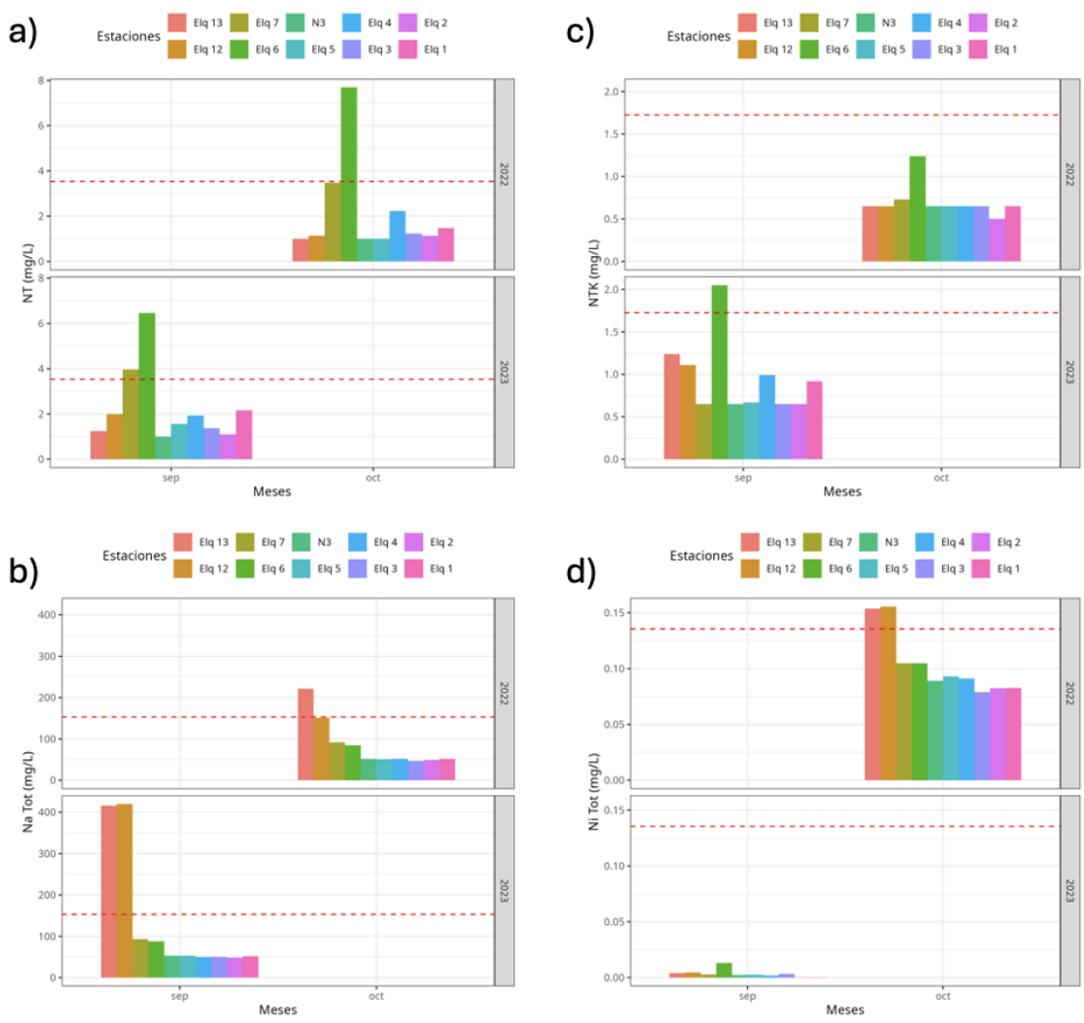
**Figura 15.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Demanda química de oxígeno (DQO), b) Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>), c) Hierro total (Fe Tot), y d) Mercurio total (Hg Tot). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



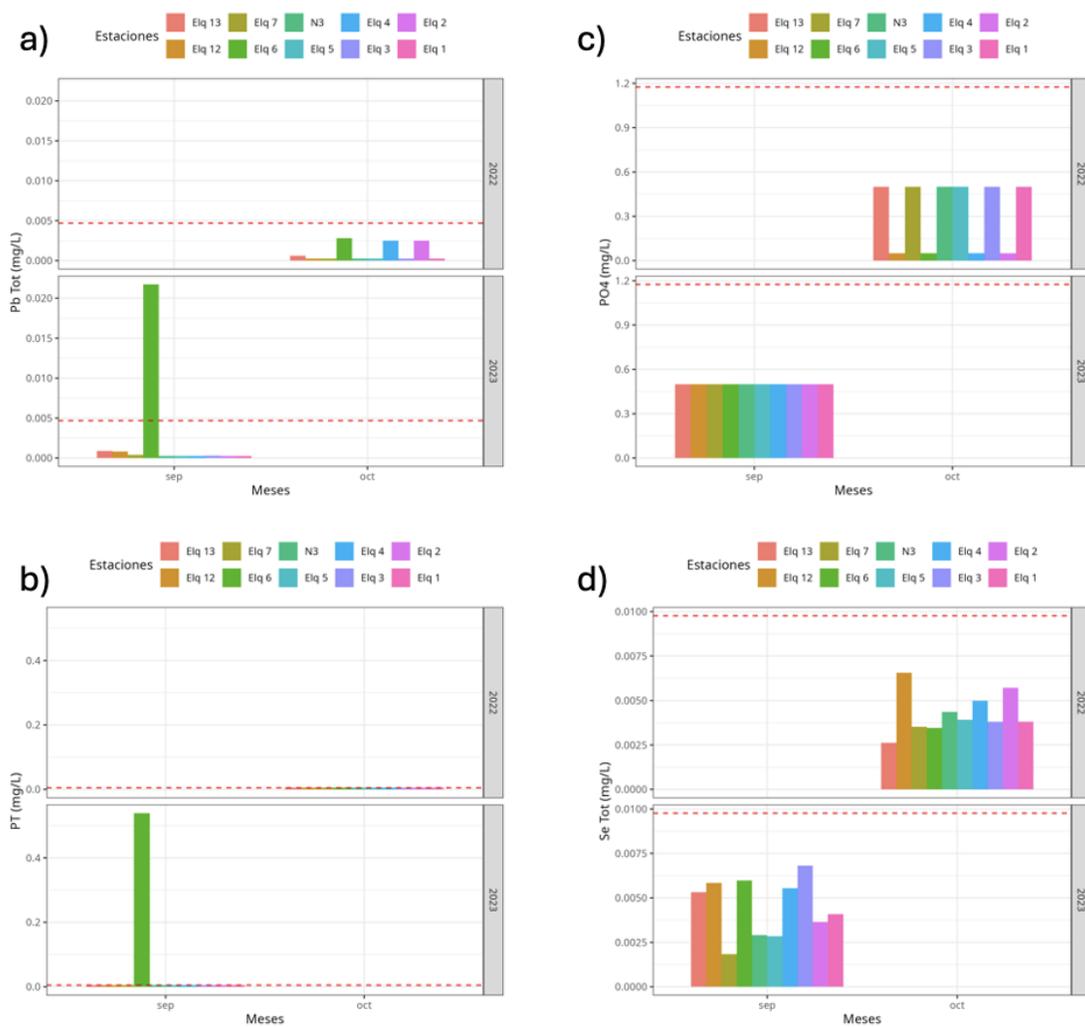
**Figura 16.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Potasio total (K Tot), b) Manganeso total (Mn Tot), c) Magnesio total (Mg Tot), y d) Molibdeno total (Mo Tot). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



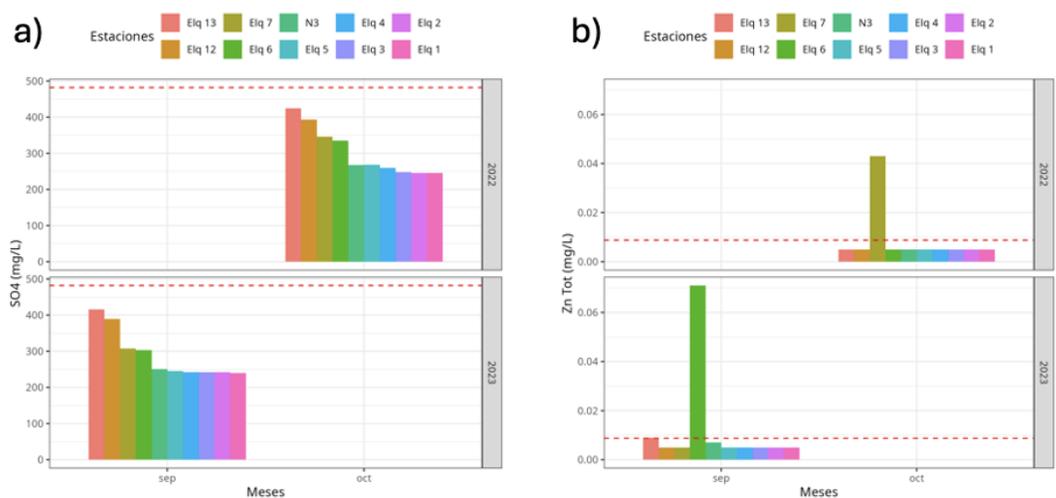
**Figura 17.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Nitrógeno de nitrito (N-NO<sub>2</sub>), b) Nitritos (NO<sub>2</sub>), c) Nitrógeno de nitrato (N-NO<sub>3</sub>), y d) Nitratos (NO<sub>3</sub>). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



**Figura 18.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Nitrógeno total (NT), b) Sodio total (Na Tot), c) Nitrógeno total Kjeldahl (NTK), y d) Níquel total (Ni Tot). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.

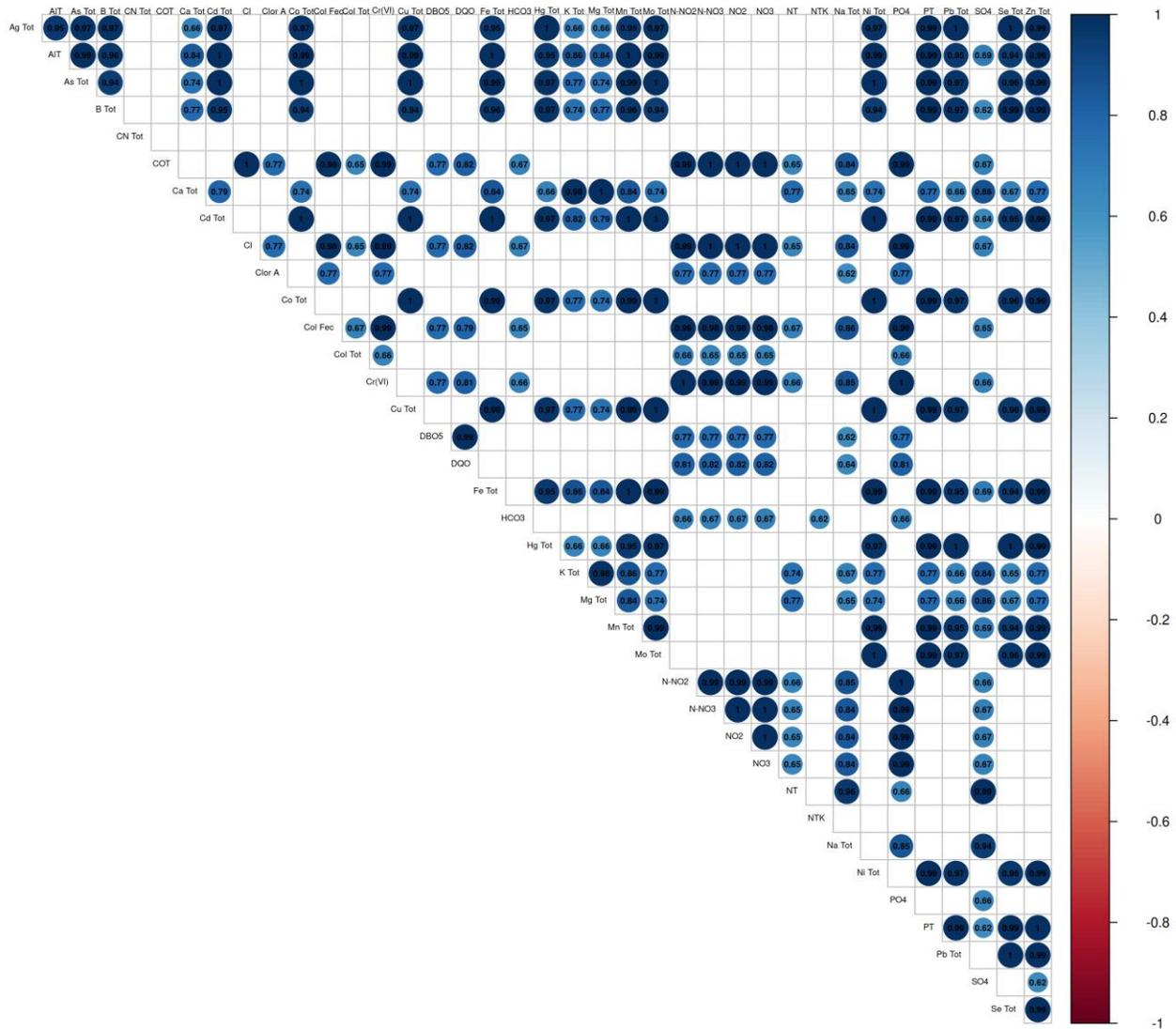


**Figura 19.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Plomo total (Pb Tot), b) Fósforo total (PT), c) Fosfatos (PO4), y d) Selenio total (Se Tot). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



**Figura 20.** Concentración de parámetros medidos en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo. Cada color representa a una estación en particular. En a) Sulfatos (SO<sub>4</sub>) y b) Zinc total (Zn Tot). Las mediciones están agrupadas por meses y años. La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.

El análisis de correlaciones múltiples pareadas (**Figura 21**) reveló que la mayoría de los parámetros analizados en laboratorio presentan correlaciones estadísticamente significativas positivas (círculos azules). Asimismo, no se presentaron correlaciones estadísticamente significativas negativas para el conjunto de parámetros cuantificados.



**Figura 21,** Correlograma para los parámetros medidos en la columna de agua que mostraron coeficientes de variación mayores a 0%. Se muestran solo las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. La escala de colores indica el sentido y nivel de correlación (coeficiente de correlación de Spearman dentro de cada círculo). Valores de correlación positivos están representados por tonos azules, mientras valores negativos están reportado en tonos rojos. Elaboración propia.

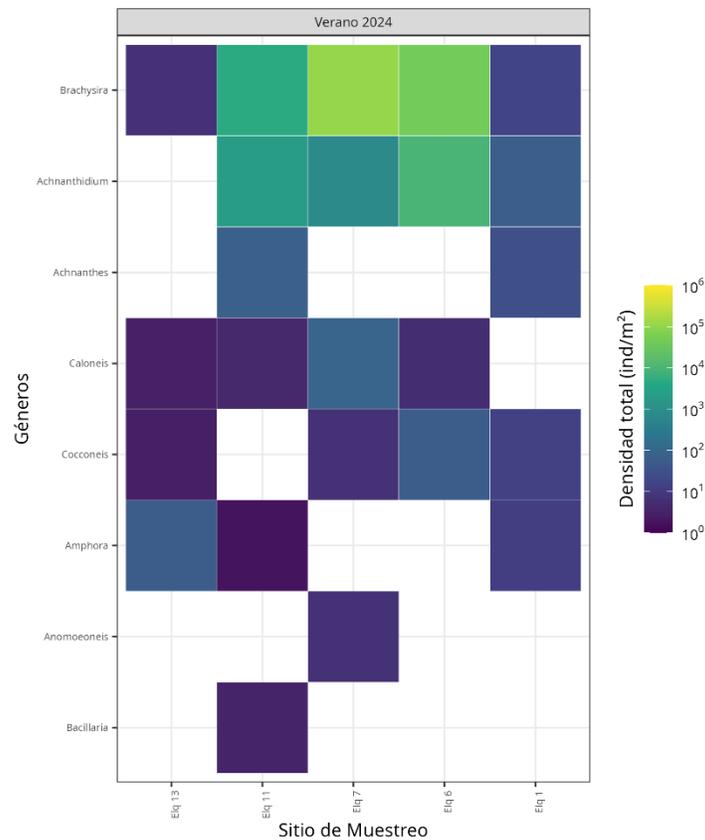
#### 4.4.2.3 Análisis multivariado

Adicionalmente, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para los parámetros de laboratorio medidos en la columna (**Figura 22**) para identificar patrones y tendencias, donde las elipses representan un intervalo de confianza del 95% para los puntajes agrupados por: a) Año, b) Estación climática, y c) Zona de monitoreo. Para los dos casos, el análisis indica que la primera componente principal (PC1) explica el 23% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) explica el 31%. Esto sugiere que las dos dimensiones capturan una proporción moderada de la variabilidad en los datos, lo que implica que los patrones subyacentes no son fácilmente discernibles en estas dimensiones.

La **Figura 22a** presenta el PCA en el que se consideraron las campañas de monitoreo como factor explicativo de la diferenciación entre parámetros ( $R^2 = 0,18$ ; valor- $p = 0,001$ ), y muestra que la campaña 2022 presenta las mayores concentraciones de Niquel total (NI Tot). La **Figura 22b** presenta el PCA en el que se consideraron las estaciones de monitoreo como factor explicativo ( $R^2 = 0,19$ ; valor- $p = 0,001$ ), donde se observa que en invierno se exhiben las mayores concentraciones de coliformes fecales y totales (Col Fec y Col Tot), lo que podría explicarse por las descargas de aliviaderos de tormenta en épocas de lluvias. Por otro lado, la **Figura 22c** que tiene como factor explicativo las zonas de monitoreo ( $R^2 = 0,11$ ; valor- $p = 0,052$ ), muestra que no existe una mayor diferenciación (elipses solapadas) en la concentración de parámetros entre las estaciones de monitoreo localizadas en la parte alta, media y baja de la zona monitoreada.



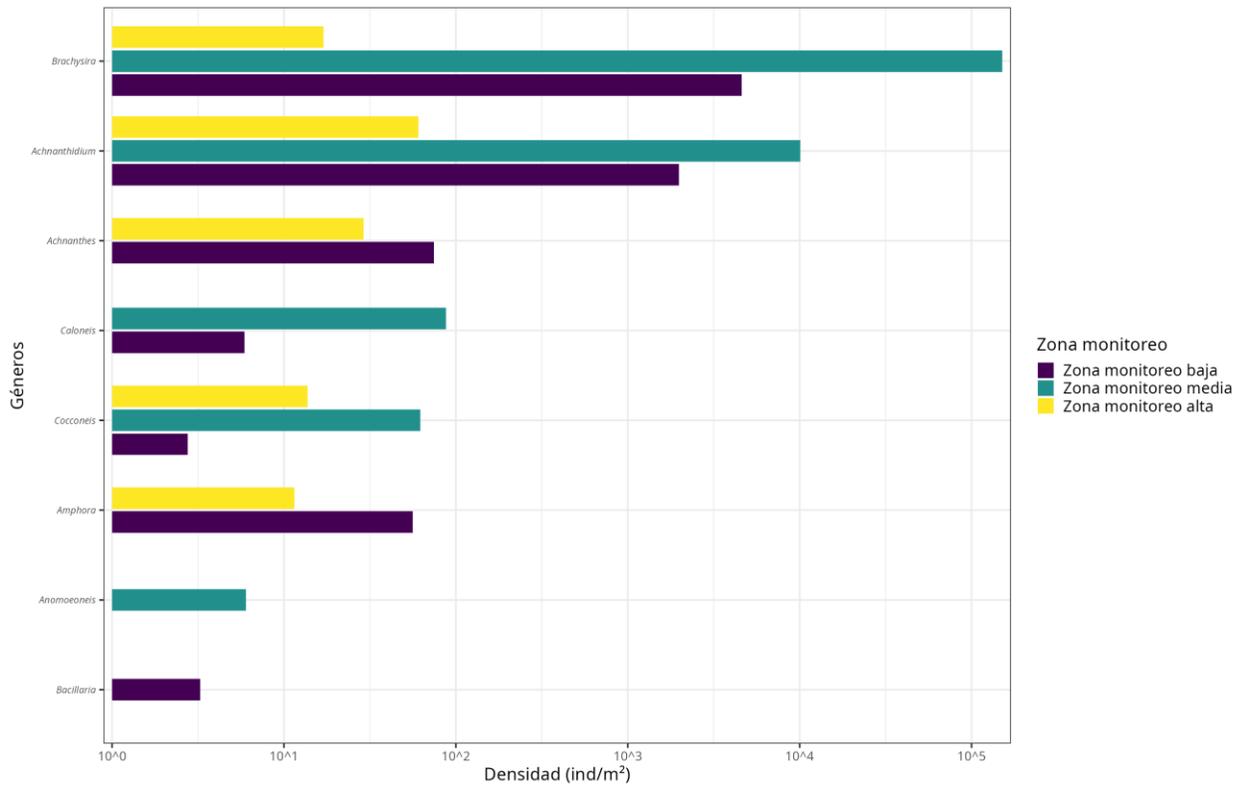
en comparación con *Brachysira*. Los géneros restantes mostraron densidades moderadas a bajas en todos los sitios de monitoreo. Por otra parte, los sitios de monitoreo con mayor riqueza de especies son Elq\_11 (S = 6) y Elq\_7 (S = 5). Por el contrario, los menores niveles de riqueza se registraron en los sitios Elq\_13 (S = 4) y Elq\_6 (S = 4). Se destaca, el sitio Elq\_6, también identificado como GEFE06 en MMA-ONU Medio Ambiente (2002), es una zona susceptible a impactos debido que aguas arriba de este sitio se encuentra una fuente difusa de pasivo minero, específicamente un relave abandonado, lo que podría influir en la calidad del agua y en la biodiversidad presente (MMA-ONU Medio Ambiente, 2002).



**Figura 23.** Densidad de individuos reconocidos a nivel de género de fitobentos por sitio de monitoreo para la campaña de verano del 2024. Dada la magnitud de la diferencia entre la densidad mínima y máxima registrada, se procedió a representar la densidad en unidades de log<sub>10</sub>. Elaboración propia.

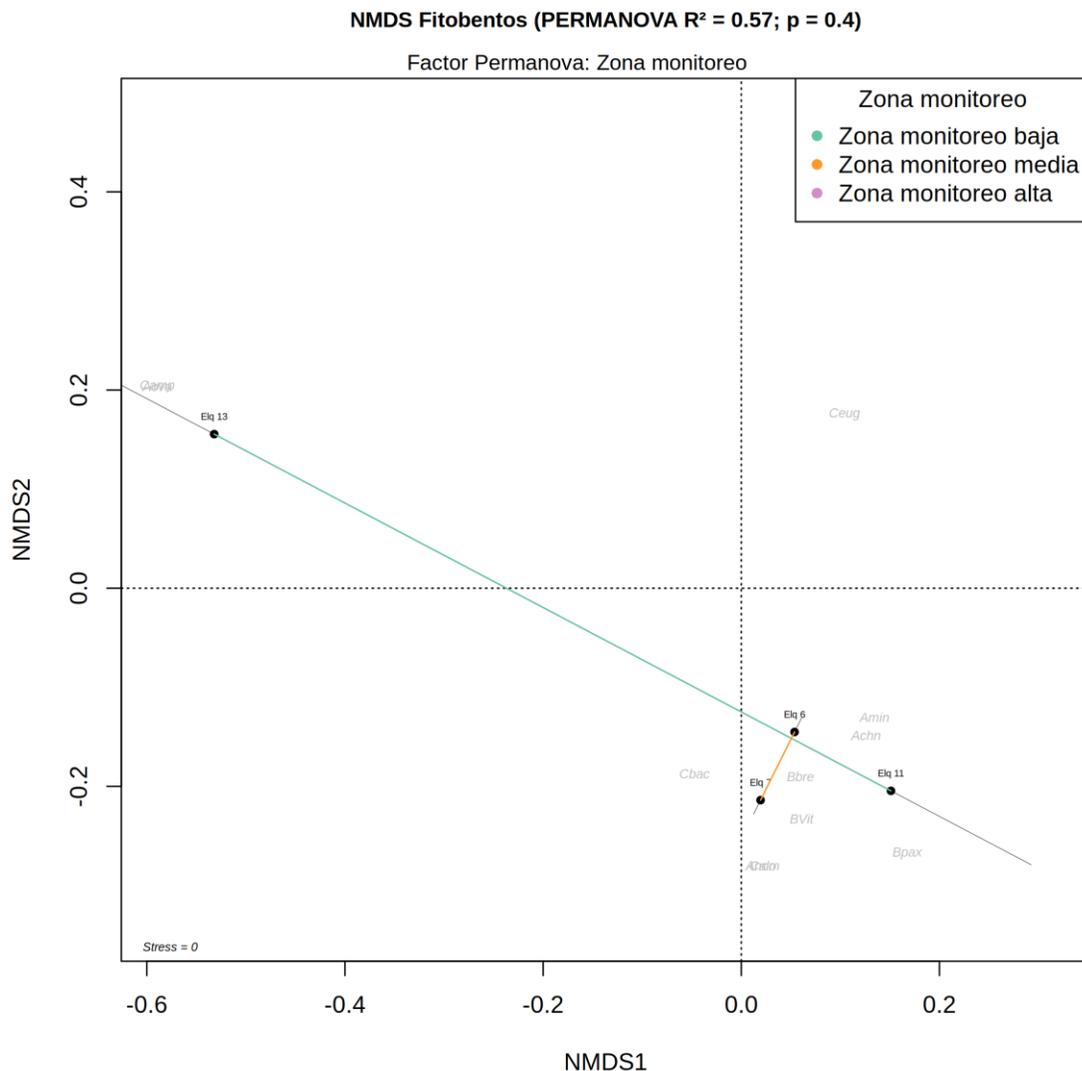
Respecto al patrón espacial del fitobentos, la mayor densidad de individuos (**Figura 24**) se concentra en la parte media de la zona de monitoreo del Humedal de Río Elqui, específicamente en las estaciones Elq\_6, Elq\_7, Elq\_8 y Elq\_9. Esta alta densidad se atribuye principalmente a la

abundancia de los géneros *Achnanthydium* y *Brachysira*, que dominan la comunidad en esta sección del Río Elqui. En contraste, la parte alta (sitios Elq\_1, Elq\_2, Elq\_3, Elq\_4 y Elq\_5) presenta los menores niveles de densidad de fitobentos para los cinco géneros presentes. En la parte baja (sitios Elq\_10, Elq\_11, Elq\_12 y Elq\_13), se observan niveles elevados de densidad para los géneros *Achnanthydium* y *Brachysira*, lo que refuerza su importancia en toda la zona monitoreada. Sin embargo, los géneros *Bacillaria* y *Cocconeis* presentan densidades más bajas.



**Figura 24.** Densidad de individuos reconocidos a nivel de género de fitobentos por Zona de Monitoreo para la campaña de verano del 2024. Dada la magnitud de la diferencia entre la densidad mínima y máxima registrada, se procedió a representar la densidad en unidades de log10. Elaboración propia.

El análisis de la estructura comunitaria del fitoplancton por zona de monitoreo (**Figura 25**) permite observar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre zonas respecto a la composición de taxa (PERMANOVA R2 = 0,57; valor-p = 0, 4), lo que no permite discernir un patrón claro en los datos para las tres partes de la zona monitoreada del Humedal del Río Elqui respecto a la estructura comunitaria de fitobentos.



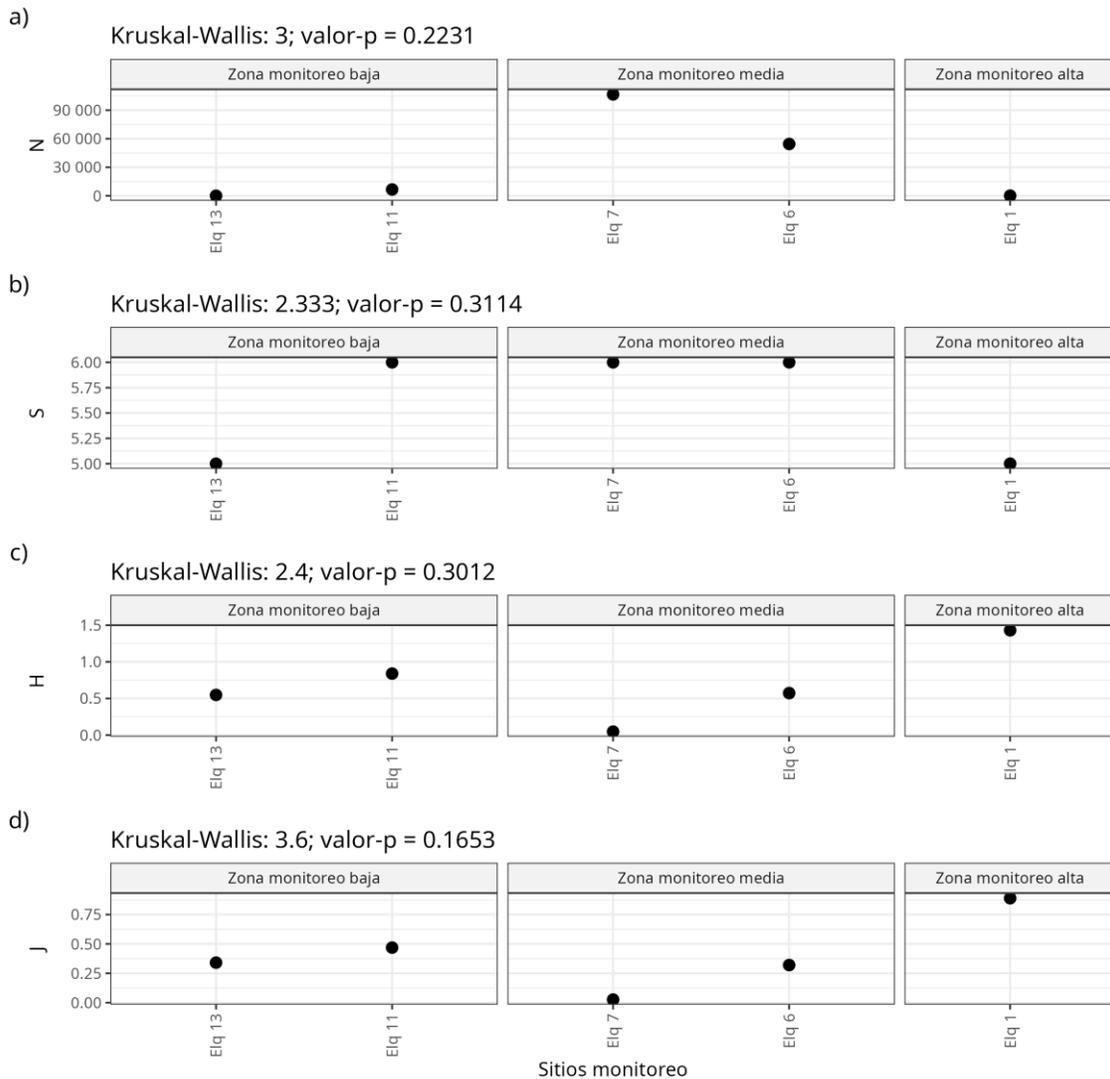
**Figura 25.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de los géneros. Los puntajes están agrupados por Zona de Monitoreo. Sobre la representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Elaboración propia.

El análisis de los índices de biodiversidad reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas en todos los indicadores Abundancia (N), Riqueza de taxones (S), Diversidad de Shannon (H), y Uniformidad de Pielou (J), entre las distintas zonas de monitoreo, según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ; **Figura 26**).

Respecto a la abundancia (N) registrada durante la campaña de monitoreo, se observó que los mayores niveles se encontraron en la zona media, particularmente en el sitio Elq\_7, con una densidad superior a 90,000 ind/m<sup>2</sup>. En cuanto a la riqueza taxonómica (S), los sitios Elq\_11 (zona baja), Elq\_7 y Elq\_6 (zona media) registraron los mayores niveles, con seis especies por cada sitio. Los valores de diversidad de Shannon (H) fueron generalmente bajos a moderados en todos los sitios de monitoreo, con niveles inferiores a 1,5.

El mayor nivel de diversidad se observó en la zona alta, específicamente en Elq\_1, que alcanzó un nivel cercano a 1,5. Por otro lado, los valores del índice de Uniformidad de Pielou (J') mostraron variación entre las distintas zonas de monitoreo, siendo el nivel más alto registrado en la parte alta (Elq\_1), alcanzando un valor de  $J' > 0,75$ .

Factor: Zona monitoreo



**Figura 26.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por Zona de Monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de taxones (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre zonas. Elaboración propia.

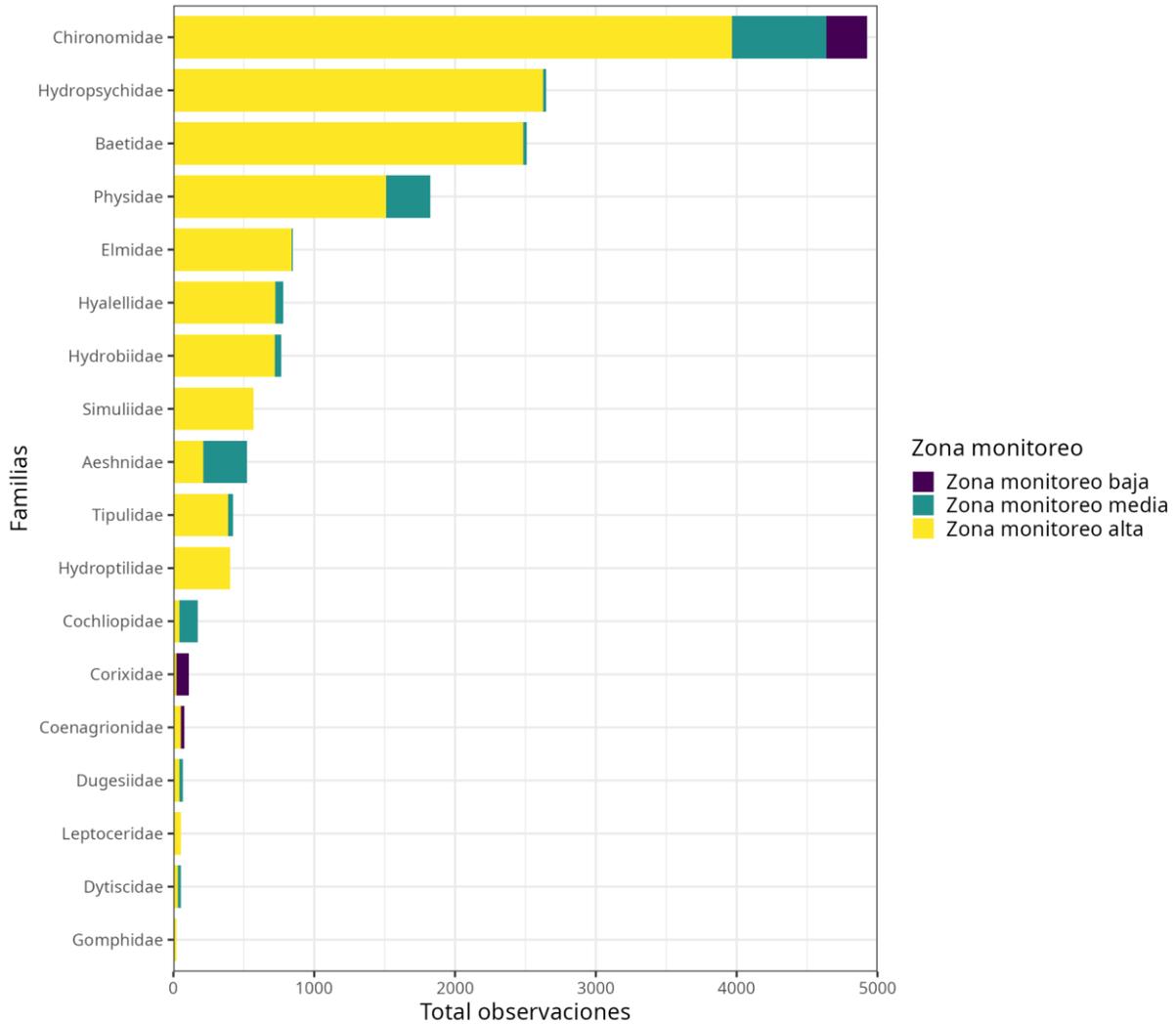
#### 4.4.3.2 Macroinvertebrados bentónicos

En el caso de los macroinvertebrados bentónicos, los análisis se realizaron a nivel de familias debido a la naturaleza de los datos. A lo largo de las dos campañas de monitoreo (primavera de 2022 y otoño de 2023) se identificaron individuos pertenecientes a 18 familias, destacándose Chironomidae como la más abundante, con 4.925 individuos, seguida de Hydropsychidae y Baetidae, con 2.646 y 2.510 individuos, respectivamente.

Desde una perspectiva temporal, ambas campañas de monitoreo presentaron valores comparables en términos de abundancia (**Figura 27**), salvo para el caso de la familia Chironomidae durante la campaña de primavera de 2022, en la cual se registró un total de 1.084 individuos. En cuanto a la distribución espacial, la parte alta de la zona de monitoreo, que incluye los sitios Elq\_1 a Elq\_5, fue la zona con el mayor número de individuos para la mayoría de las familias registradas (**Figura 28**).

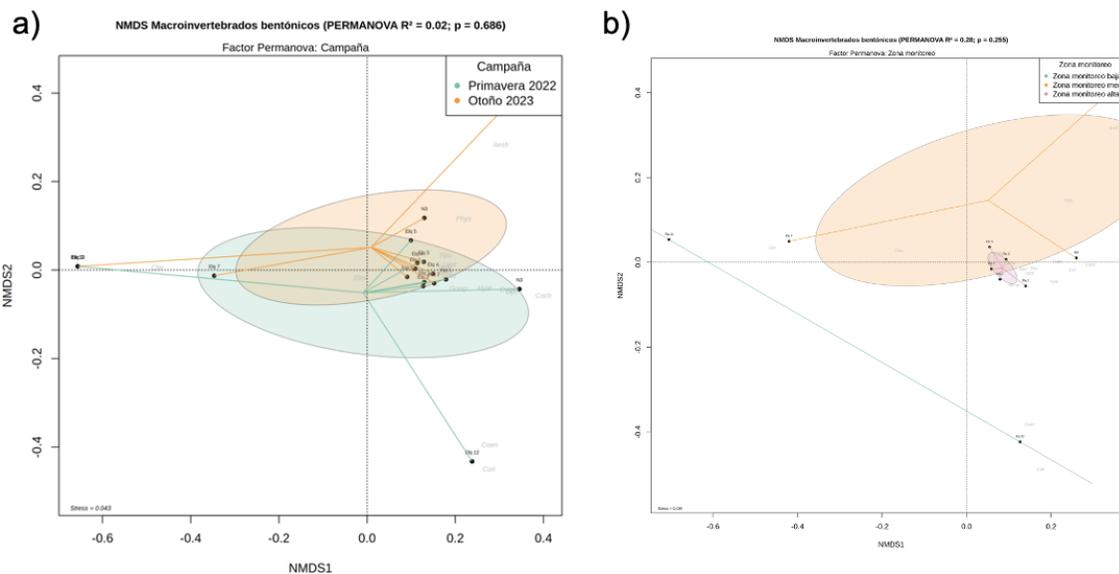


**Figura 27.** Numero de observaciones (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de familia de macroinvertebrados bentónicos por sitio de monitoreo para las campañas de primavera del 2022 y otoño del 2023. Elaboración propia.



**Figura 28.** Número de observaciones totales (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de familias de macroinvertebrados bentónicos por Zona de Monitoreo a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

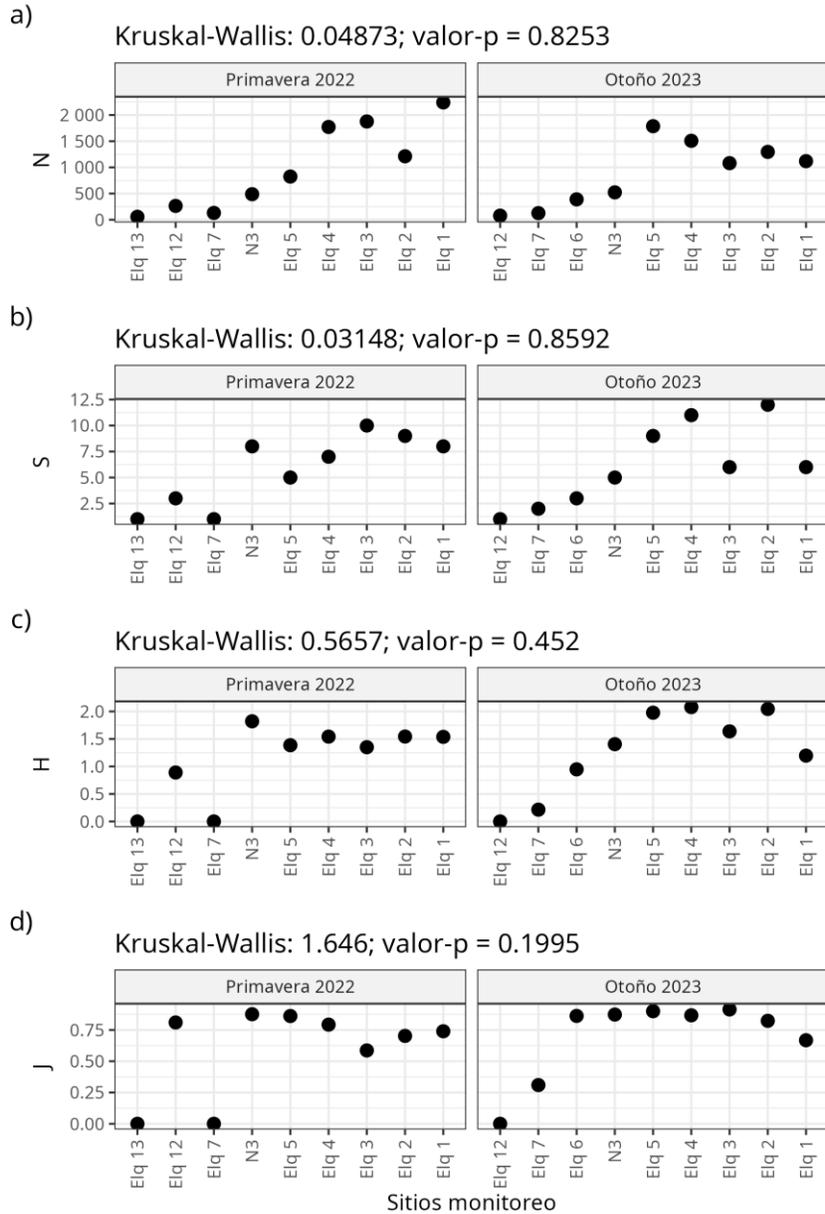
Los resultados de los análisis realizados para estudiar la estructura comunitaria de la fauna de macroinvertebrados bentónico indican que ni en una dimensión temporal (campañas de monitoreo) ni espacial (zonas de monitoreo) existen diferencias estadísticamente significativas en la estructura comunitaria (**Figura 29a, Figura 29b**). No obstante, a nivel de zonas se observar cierto grado de diferenciación en la estructura comunitaria entre las zonas baja y media, sin embargo, esta diferencia no es estadísticamente significativa, posiblemente debido al reducido número de estaciones en la cuenca baja, que está representada solo por dos sitios en este análisis (Elq\_13 y Elq\_12).



**Figura 29.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las familias. En a) puntajes agrupados por Campaña y en b) por Zona de Monitoreo. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Los análisis de los índices comunitarios indicaron que, a nivel temporal (campañas de monitoreo), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los índices calculados (**Figura 30**). En términos generales, la abundancia mostró un aumento río arriba, aunque en la campaña de otoño de 2023 se observó un descenso a partir de la estación Elq\_5 (**Figura 30a**). La riqueza de familias siguió un patrón similar entre campañas, aumentando río arriba hasta alcanzar las estaciones Elq\_3 o Elq\_4, dependiendo del periodo de monitoreo. De manera similar, tanto la diversidad como la uniformidad se incrementaron río arriba hasta la estación Elq\_5, a partir de la cual los niveles de ambos índices se estabilizaron o comenzaron a disminuir (**Figuras 30c y 30d**).

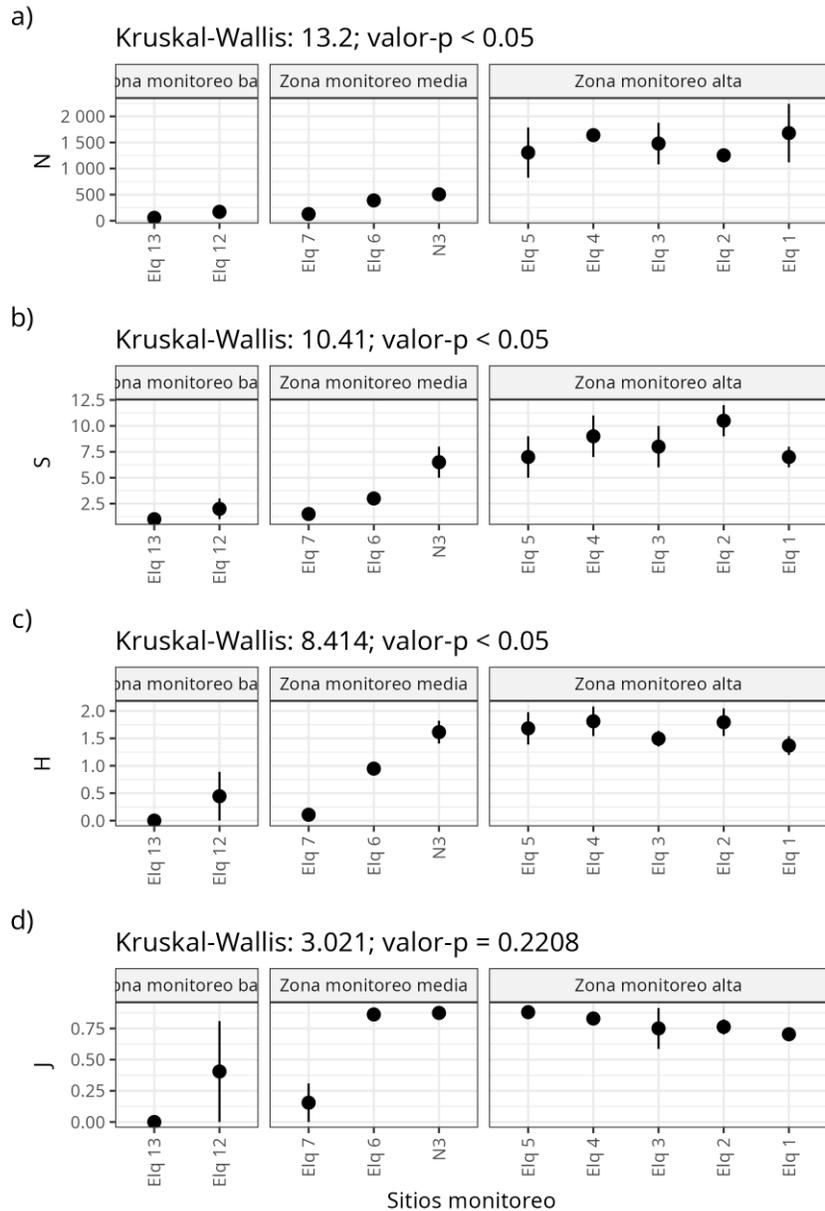
Factor: Campaña



**Figura 30.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de taxones (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las Zonas de Monitoreo. Valores p < 0,05 son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

A nivel espacial, se observaron diferencias significativas en todos los índices entre las zonas de monitoreo (**Figura 31**), salvo para la uniformidad (**Figura 31d**). La zona alta muestra los mayores niveles de todos los índices, mientras que la zona baja muestra los menores.

Factor: Zona monitoreo



**Figura 31**, Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por Zona de Monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de taxones (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores p < 0,05 son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

#### 4.4.3.3 Anfibios

Se identificaron un total de dos especies en el Humedal del Río Elqui, correspondientes a *Pleurodema thaul* (sapo de cuatro ojos) y *Rhinella atacamensis* (sapo de Atacama), con un total de quince individuos colectados durante la única campaña de monitoreo realizada en invierno de 2023 (**Tabla 8**).

A nivel espacial, el sitio de monitoreo Elq\_3, ubicado en la parte alta de la zona de monitoreo del Humedal del Río Elqui, muestra las mayores abundancias de anfibios, con un registro de siete individuos, donde se observó únicamente *Pleurodema thaul*. Por otra parte, la estación Elq\_8, situada en la parte media de la zona de monitoreo, destaca por presentar la mayor riqueza taxonómica, con la observación de ambas especies (*Pleurodema thaul* y *Rhinella atacamensis*). El resto de los sitios de monitoreo exhibe tanto abundancias de especies como riqueza taxonómica bajas. A nivel de hábitat, la zona fluvial presentó la mayor abundancia con 13 individuos, en contraste con la zona estuarina, representada únicamente por el sitio Elq\_13, con solo dos individuos.

**Tabla 8.** Tabla con la abundancia de especies de anfibios. Elaboración propia.

Sitio monitoreo	Especie	Campaña monitoreo	Hábitat	Abundancia
Elq_13	<i>Pleurodema thaul</i>	Invierno 2023	*Estuario	2
Elq_8	<i>Pleurodema thaul</i>	Invierno 2023	Río	2
Elq_8	<i>Rhinella atacamensis</i>	Invierno 2023	Río	1
Elq_5	<i>Pleurodema thaul</i>	Invierno 2023	Río	3
Elq_3	<i>Pleurodema thaul</i>	Invierno 2023	Río	7

\*El estuario corresponde a uno con barrera de arena.

#### 4.4.3.4 Ictiofauna

Se identificaron un total de tres especies de fauna íctica en el Humedal del Río Elqui, correspondientes a *Gambusia holbrooki*, *Cheirodon pisciculus*, y *Mugil cephalus*, con un total de catorce individuos colectados durante las campañas de monitoreo de primavera 2023 y verano 2024 (**Tabla 9**). La especie más representativa fue *Gambusia holbrooki*, con 92 observaciones registradas. A nivel temporal, ambas campañas registraron, de forma individual, una abundancia específica de siete individuos y una riqueza taxonómica de tres especies. A nivel espacial, el sitio de monitoreo Elq\_8, ubicado en la parte media de la zona de monitoreo, registró la mayor abundancia con 52 individuos, seguido de Elq\_7 (parte media) y Elq\_11 (parte baja) con 26 y 24 individuos, respectivamente. En contraparte, el sitio Elq\_13 (zona baja y desembocadura del río Elqui) registró la menor abundancia con 14 individuos. A nivel de hábitat, la zona fluvial presenta la mayor abundancia de ictiofauna con 122 individuos registrados, en contraste con la zona estuarina, representada únicamente por el sitio Elq\_13, con 14 individuos registrados.

Respecto al origen de la ictiofauna registrada, *Gambusia holbrooki* corresponde a una especie introducida, *Mugil cephalus* corresponde a una especie nativa, mientras que *Cheirodon pisciculus* presenta endemismo. Estas últimas se encuentran en categorías de conservación de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Clasificación de Especies (RCE), siendo clasificadas en Precaución menor (LC) y Vulnerable (VU), respectivamente.

**Tabla 9.** Tabla con la abundancia de especies de ictiofauna. Elaboración propia.

Sitio monitoreo	Especie	Campaña	Hábitat	Abundancia
Elq_13	<i>Mugil cephalus</i>	Primavera 2023	Estuario	7
Elq_13	<i>Mugil cephalus</i>	Verano 2024	Estuario	7
Elq_11	<i>Gambusia holbrooki</i>	Primavera 2023	Río	12
Elq_11	<i>Gambusia holbrooki</i>	Verano 2024	Río	12
Elq_8	<i>Cheirodon pisciculus</i>	Primavera 2023	Río	9
Elq_8	<i>Cheirodon pisciculus</i>	Verano 2024	Río	9
Elq_8	<i>Gambusia holbrooki</i>	Primavera 2023	Río	17
Elq_8	<i>Gambusia holbrooki</i>	Verano 2024	Río	17
Elq_7	<i>Cheirodon pisciculus</i>	Primavera 2023	Río	6
Elq_7	<i>Cheirodon pisciculus</i>	Verano 2024	Río	6
Elq_7	<i>Gambusia holbrooki</i>	Primavera 2023	Río	7
Elq_7	<i>Gambusia holbrooki</i>	Verano 2024	Río	7
Elq_6	<i>Gambusia holbrooki</i>	Primavera 2023	Río	10
Elq_6	<i>Gambusia holbrooki</i>	Verano 2024	Río	10

#### 4.4.3.5 Quirópteros

En cuanto a los quirópteros (murciélagos) del Humedal de Río Elqui, se identificaron cuatro taxones correspondientes a *Histiotus macrotus*, *Lasiurus sp.*, *Myotis atacamensis*, y *Tadarida brasiliensis*, registradas en la única campaña de monitoreo de invierno de 2023 (**Tabla 10**), presentando una abundancia total de 230 individuos. La especie más representativa corresponde a *Tadarida brasiliensis*, que por sí sola representó 190 observaciones.

Respecto al patrón espacial (**Tabla 10**), el sitio de monitoreo Elq\_3, ubicado en la parte alta de la zona de monitoreo del Humedal de Río Elqui, registró la mayor abundancia con 126 individuos. El resto de los sitios presentaron abundancias moderadas a bajas, donde el sitio Elq\_7 presenta los menores niveles, con seis individuos registrados. A nivel de hábitat, la zona fluvial presenta la mayor abundancia, con un registro de 171 individuos, en contraste con la zona estuarina, representada únicamente por el sitio Elq\_13, que registra una abundancia de 59 individuos.

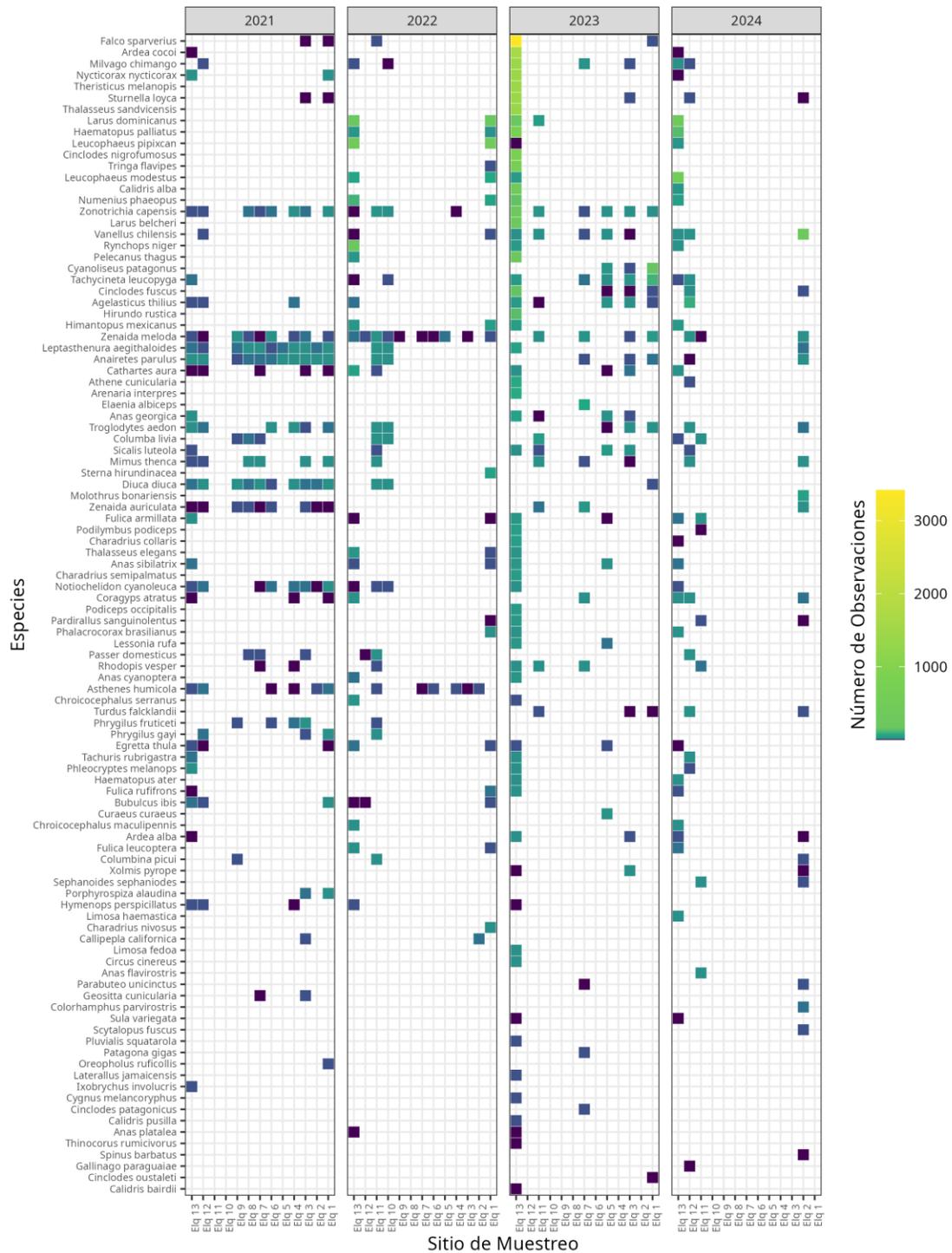
Respecto al origen y estado de conservación de los quirópteros registrados, las especies *Histiotus macrotus* y *Tadarida brasiliensis* son especies nativas, ambas clasificadas como Preocupación Menor (LC), mientras *Myotis atacamensis* es una especie nativa clasificada como Casi Amenazadas (LC), según lo dispuesto en el Reglamento de Clasificación de Especies (RCE).

**Tabla 10.** Tabla con la abundancia de especies de quirópteros. Elaboración propia.

Sitio monitoreo	Especie	Campaña	Hábitat	Abundancia
Elq_13	<i>Tadarida brasiliensis</i>	Invierno 2023	Estuario	59
Elq_11	<i>Lasiurus</i>	Invierno 2023	Río	2
Elq_11	<i>Tadarida brasiliensis</i>	Invierno 2023	Río	17
Elq_7	<i>Histiotus macrotus</i>	Invierno 2023	Río	1
Elq_7	<i>Tadarida brasiliensis</i>	Invierno 2023	Río	5
Elq_5	<i>Tadarida brasiliensis</i>	Invierno 2023	Río	20
Elq_3	<i>Myotis atacamensis</i>	Invierno 2023	Río	37
Elq_3	<i>Tadarida brasiliensis</i>	Invierno 2023	Río	89

#### 4.4.3.6 Avifauna

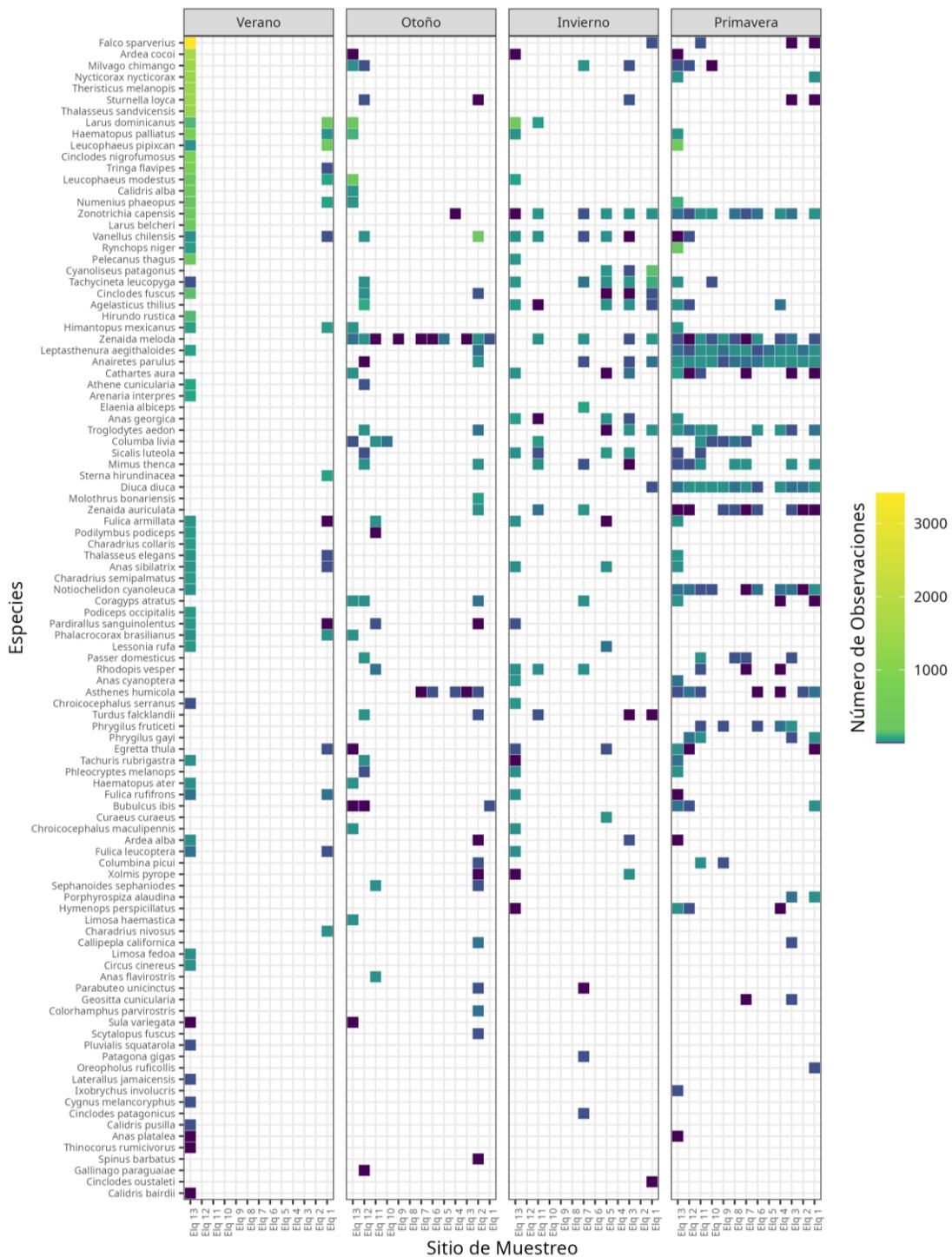
En cuanto a la diversidad de avifauna registrada en este humedal, se documentó un total de 102 especies a lo largo de las nueve campañas de monitoreo realizadas. Entre estas, *Falco sparverius*, *Ardea cocoi*, *Milvago chimango*, *Nycticorax*, *Sturnella loyca* y *Theristicus melanopis* fueron las especies más abundantes, con el mayor número de avistamientos. Desde una perspectiva temporal, el año 2023 destacó significativamente como el periodo con el mayor número de avistamientos, registrándose 17.484 observaciones, mientras que en el año 2021 se registraron solo 412 (**Figura 32**).



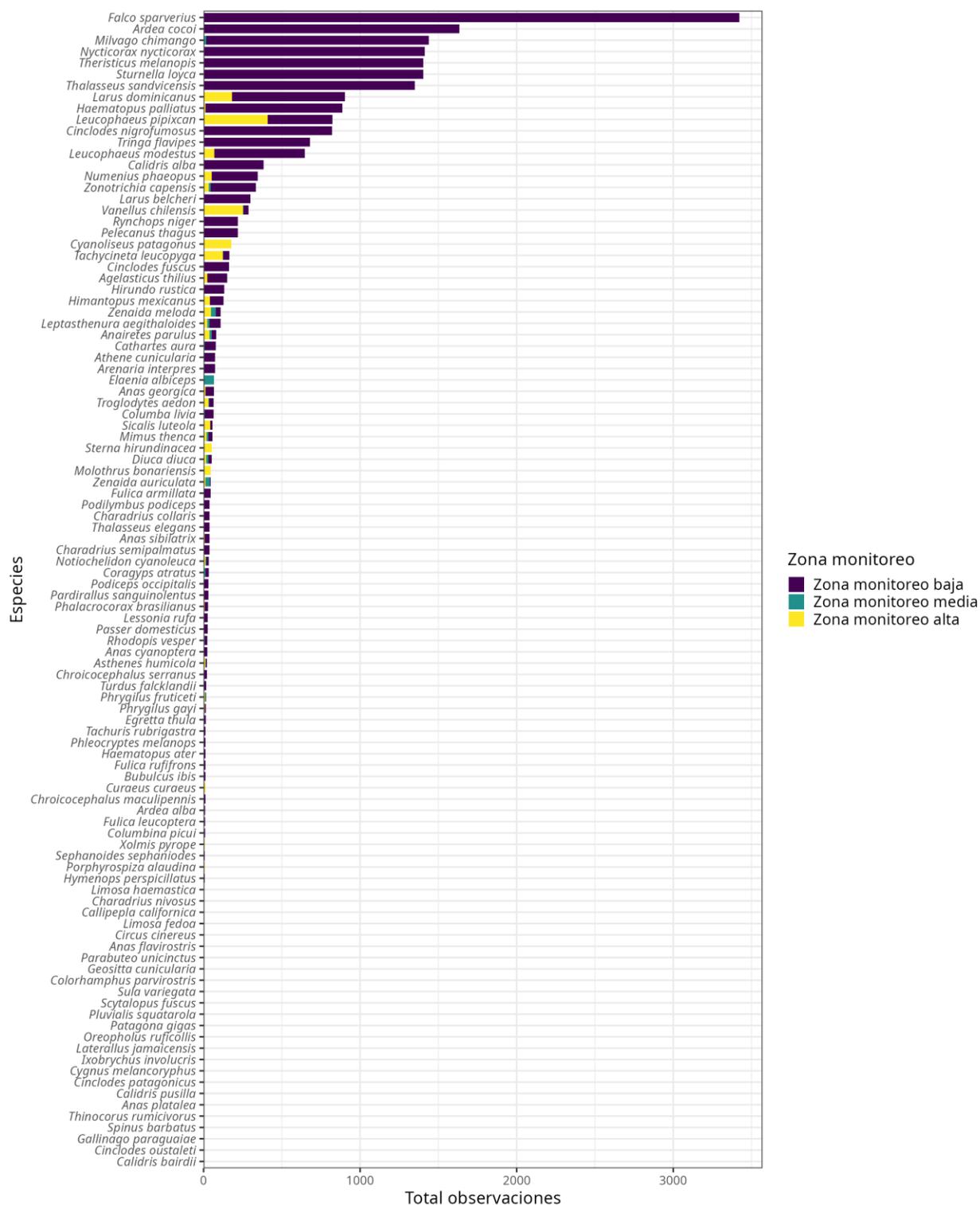
**Figura 32.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por año sitio y año de monitoreo. Elaboración propia.

En términos estacionales, el verano fue la estación con el mayor número de avistamientos, mientras que otoño, invierno y primavera presentaron cifras similares, con 1.334, 1.401 y 1.363 avistamientos, respectivamente (**Figura 33**).

Desde una perspectiva espacial, la parte baja de la zona de monitoreo del humedal, que incluye los sitios Elq\_13, Elq\_12, Elq\_11 y Elq\_10, se destacó con un número significativamente mayor de avistamientos, seguida de la parte alta monitoreada (**Figura 34**).

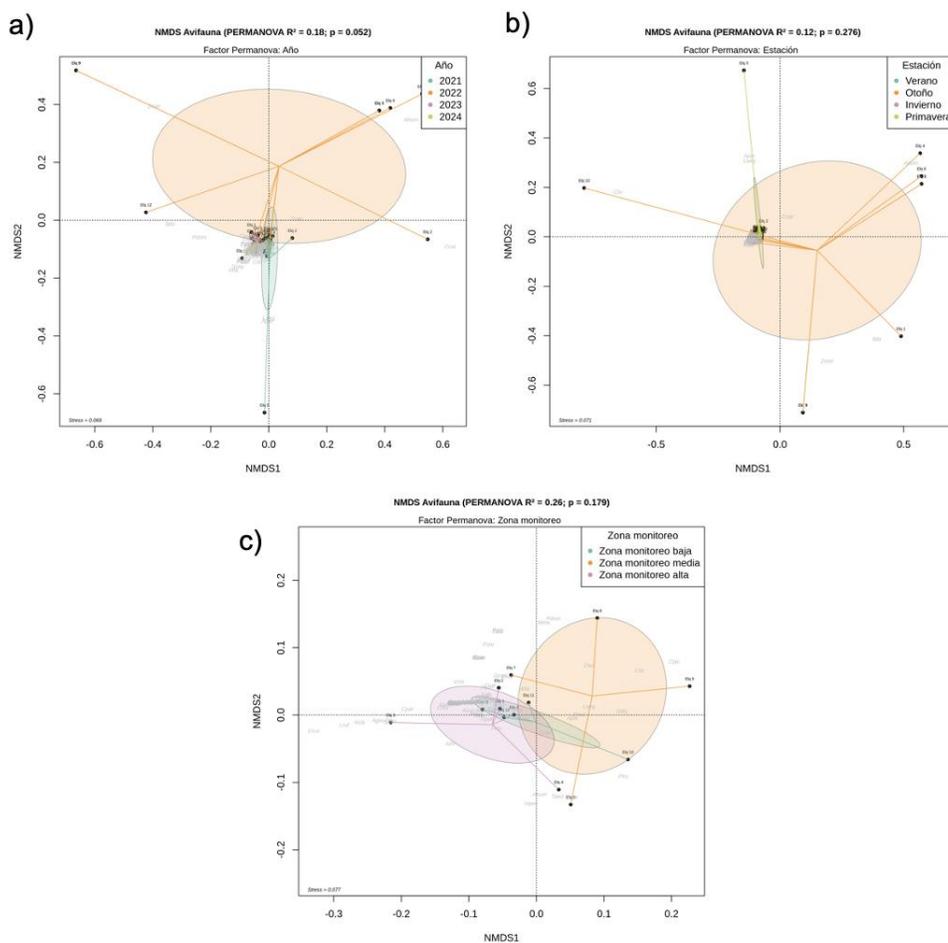


**Figura 33.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por sitio de monitoreo y estaciones climáticas. Elaboración propia.



**Figura 34.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de aves por zona de monitoreo a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

Los resultados de los análisis diseñados para detectar patrones en estructura comunitaria a través de dimensiones temporales y espaciales, indican que no existe evidencia que sustente la existencia de patrones comunitarios a nivel temporal (año y estación climática, **Figura 35a** y **Figura 35b**). Si bien para el factor año (**Figura 35a**), se puede observar una diferenciación entre el año 2023 y el resto de los años, esta diferenciación no es estadísticamente significativa (valor- $p = 0,052$ ). Del mismo modo, a pesar de la observada tendencia hacia una diferenciación espacial (i.e. entre zonas de monitoreo) en la estructura comunitaria, esta no es estadísticamente significativa (**Figura 35c**; valor- $p = 0,073$ ).



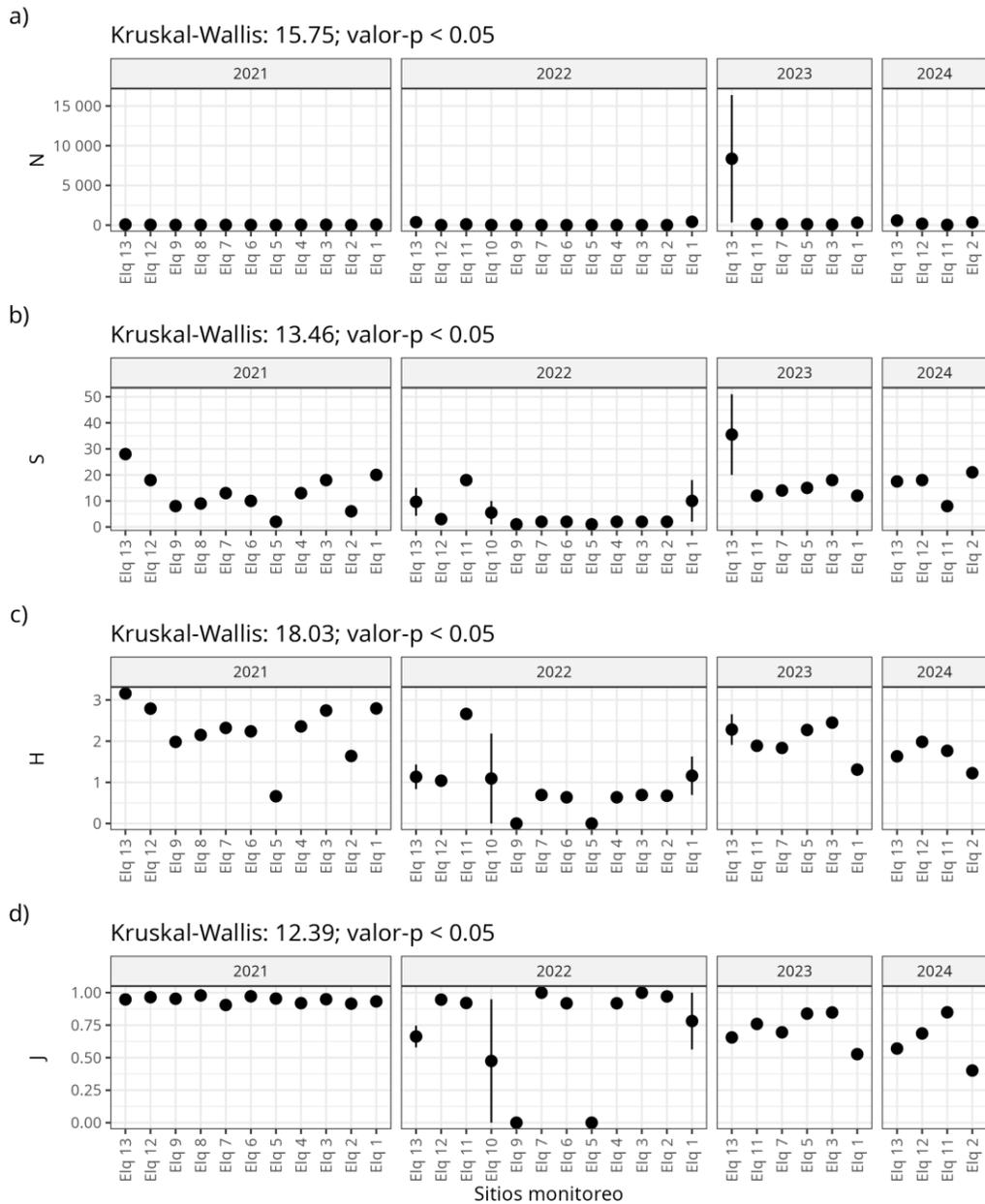
**Figura 35.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Año, b) por Estación climática, y c) por Zona de Monitoreo. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Los análisis de los índices comunitarios revelaron diferencias estadísticamente significativas a lo largo de los años, estaciones climáticas y zona del monitoreo (**Figuras 36, Figura 37 y Figura 38**). En términos anuales, tanto la abundancia (N; **Figura 36a**) como la riqueza de especies (S; **Figura 36b**) fueron significativamente mayores en 2023, con un notable incremento en la estación Elq\_13. La diversidad (H'; **Figura 36c**) alcanzó su máximo en 2021 y su mínimo en 2022, mientras que los años 2023 y 2024 mostraron niveles similares. En cuanto a la uniformidad (J'; **Figura 36d**), 2021 presentó los valores más altos en todas las estaciones monitoreadas. Aunque en 2022 se observaron valores elevados de uniformidad, también se registraron los niveles más bajos en las estaciones Elq\_9 y Elq\_5. Los años 2023 y 2024 mostraron valores comparables en uniformidad.

Los resultados de este análisis para las estaciones climáticas también muestran diferencias estadísticamente significativas en todos los índices (**Figura 37**). Tanto la abundancia como la riqueza de especies fueron mayores durante el verano (**Figuras 37a y 37b**), destacándose nuevamente la estación Elq\_13. La diversidad (**Figura 37c**) fue mayor en primavera y menor en otoño, mientras que la uniformidad de especies mostró su mayor valor en primavera, con niveles similares entre el resto de las estaciones (**Figura 37d**).

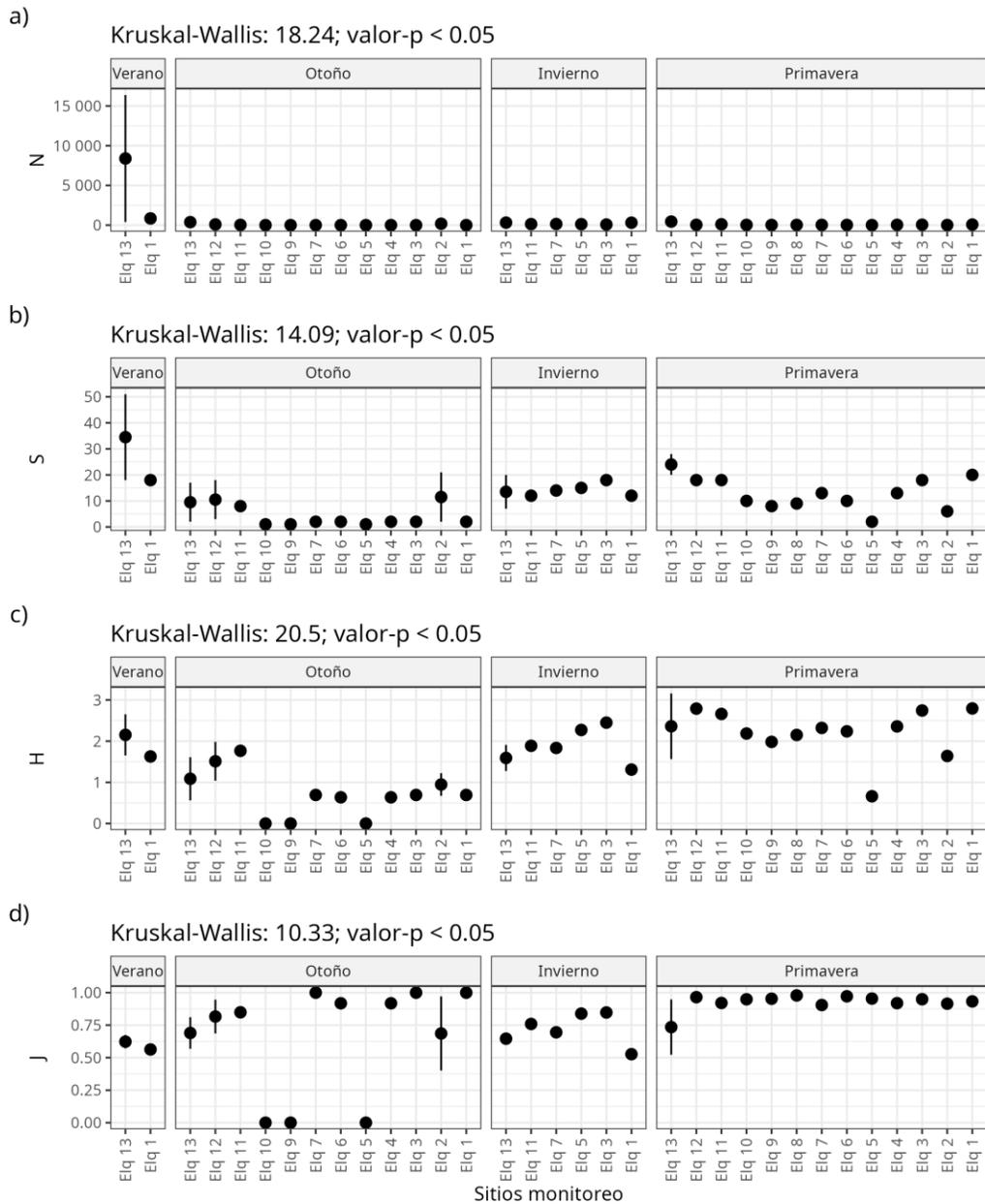
Por último, desde una perspectiva espacial, el análisis por zonas de la cuenca mostró que solo la abundancia presentó diferencias estadísticamente significativas (**Figura 38a**), debido principalmente a la alta abundancia registrada en la estación Elq\_13. Los demás índices no evidenciaron diferencias significativas entre zonas de monitoreo (**Figuras 38b, 38c y 38d**).

Factor: Año



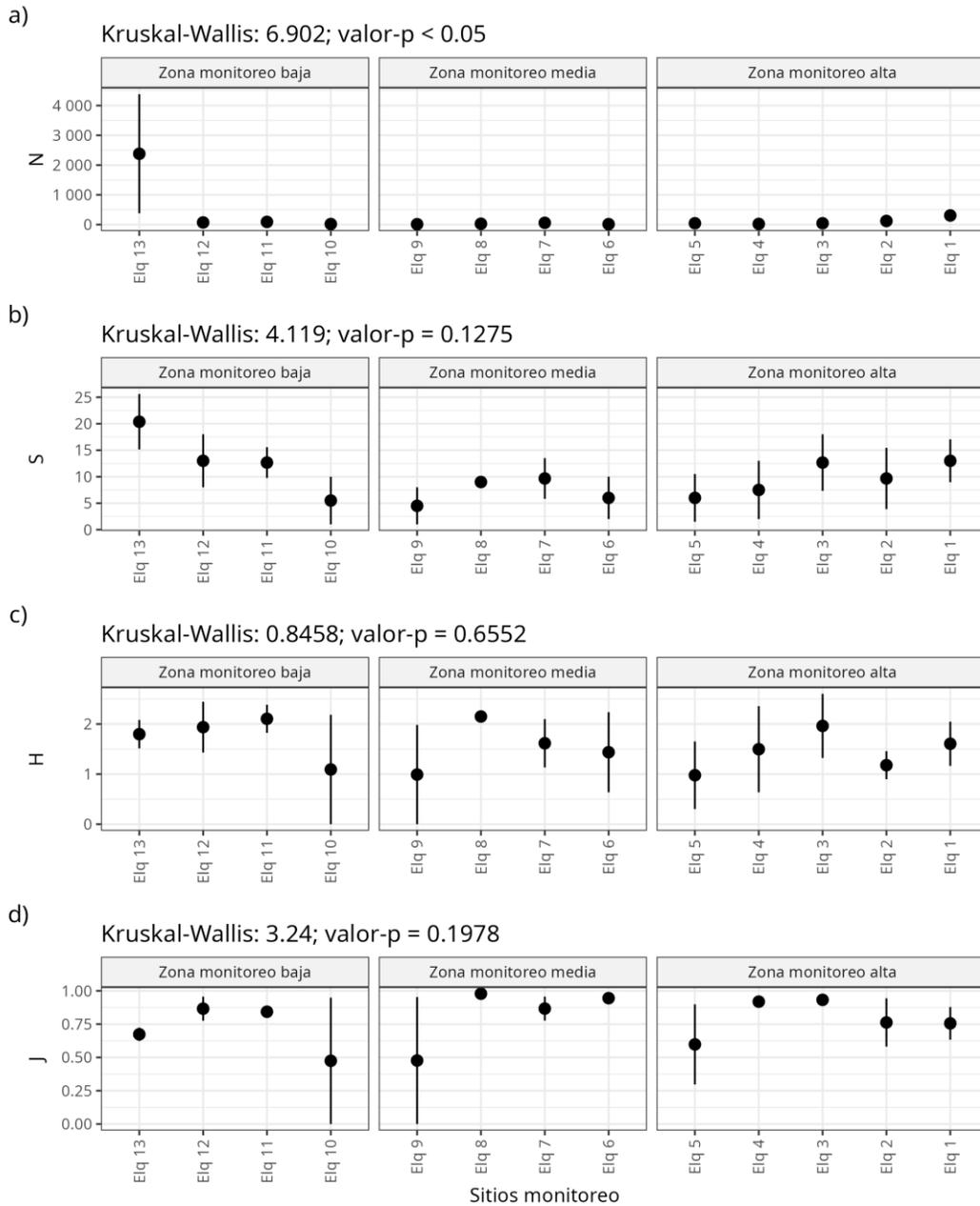
**Figura 36.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por año y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre los años. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Factor: Estación



**Figura 37.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por estación climática y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las estaciones climáticas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

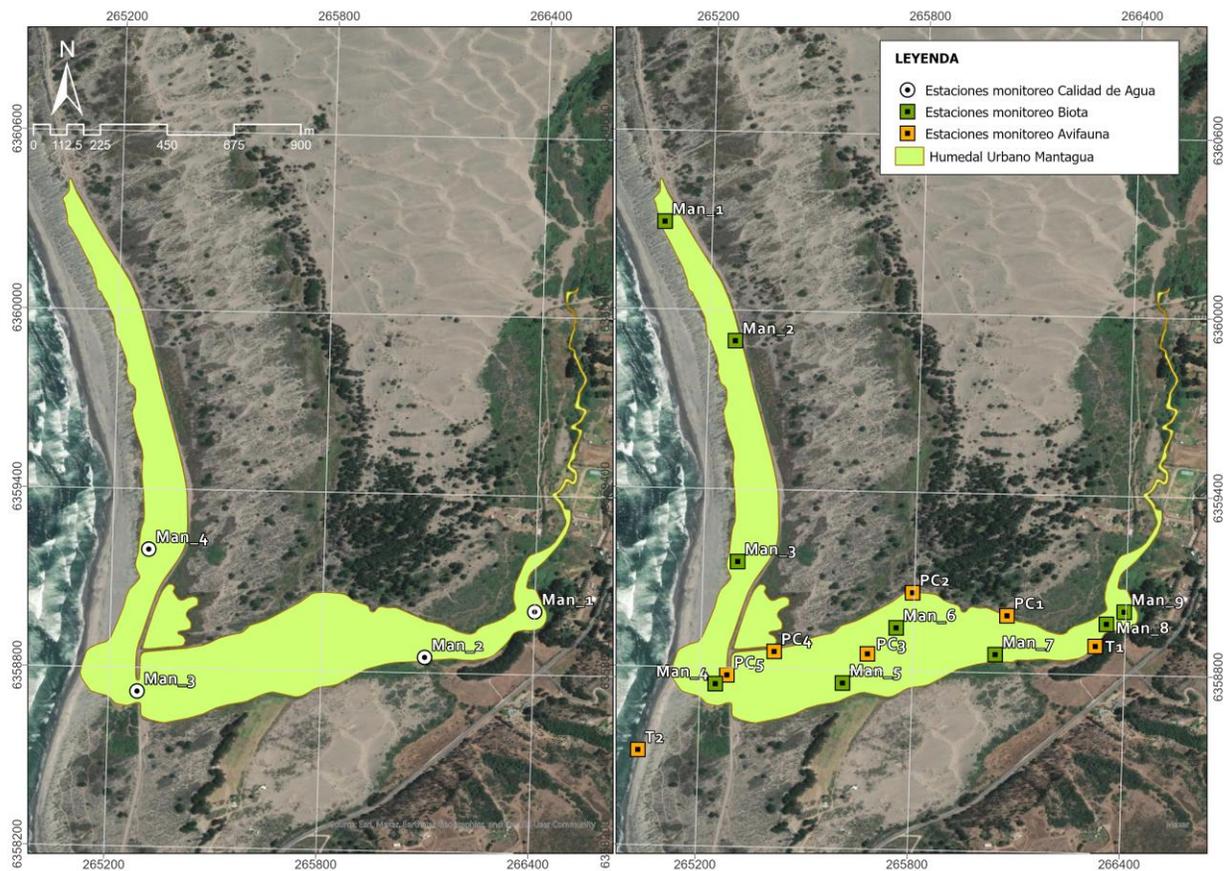
Factor: Zona monitoreo



**Figura 38.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por zona de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

#### 4.5 Humedal Mantagua

La **Figura 39** ilustra el diseño del programa de monitoreo del Humedal de Mantagua, que abarca un total de 13 estaciones distribuidas a lo largo del sistema. Este esquema incluye el Monitoreo de Calidad de Agua (estaciones Man\_1 a Man\_4) y el Monitoreo de Biota (estaciones Man\_1 a Man\_9), abarcando grupos biológicos como los macroinvertebrados bentónicos y la ictiofauna. En particular, el monitoreo de avifauna se realizó en puntos de conteo específicos que fueron censados por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).



**Figura 39.** Estaciones de monitoreo ambiental del Humedal de Mantagua. Polígono extraído del Expediente de Humedal Urbano N°HU-0100, Coordenadas en UTM. Datum WGS84, Huso 19H. Elaboración propia.

#### 4.5.1 Calidad de agua parámetros *in situ*

##### 4.5.1.1 Estadística descriptiva

El análisis de la estadística descriptiva para los parámetros medidos en el humedal de Mantagua revela que ninguno de los parámetros presenta un coeficiente de variación igual a cero (**Tabla 11**). Entre los 7 parámetros físico-químicos cuantificados, solo 2 muestran coeficientes de variación superiores al 100%: el oxígeno disuelto (OD) con un 105% y la salinidad (Sal) con un 128%. Estos resultados indican una alta dispersión de los valores de estos parámetros en relación con su media, reflejando una variabilidad significativa en las mediciones. Por su parte, el test de Shapiro-Wilk para el parámetro de oxígeno saturado (OD\_Sat) arrojó un valor de 0,981 con un valor-p de 0,141 (**Tabla 11**), lo que indica que los datos siguen una distribución normal.

**Tabla 11.** Estadística descriptiva para parámetros físico-químicos medidos en columna de agua. Nobs: número de observaciones, min =mínimo, max =máximo, prom =promedio, desvest =desviación estándar, cv% =coeficiente de variación, shapiro-wilk = estadístico W de la prueba Shapiro-Wilk, valor-p = valor-p de la prueba Shapiro-Wilk. CE: Conductividad Eléctrica; OD: Oxígeno disuelto; OD Sat: Saturación oxígeno disuelto; SDT: Sólidos Disueltos Totales; Sal: Salinidad; T: Temperatura. Elaboración propia.

Sigla	Nobs	min	max	prom	desvest	<sup>1</sup> cv%	shapiro-wilk	<sup>2</sup> valor-p
CE	115	706	36920	8557.73	7673.34	90,00%	0,834	0,000
OD	253	0,26	91.5	9.29	9.79	<b>105.00%</b>	0,431	0,000
OD Sat	103	0,86	160,4	71.6	37.34	52.00%	0,981	<b>0,141</b>
pH	266	6.52	10,61	8.36	0,91	11.00%	0,983	0,004
Sal	265	0,35	35.23	4.21	5.41	<b>128.00%</b>	0,652	0,000
SDT	115	353	18460	4296.4	3847.64	90,00%	0,840	0,000
T	266	8.02	27.24	17.49	3.81	22.00%	0,982	0,002

<sup>1</sup> Se destacan en negrita los valores de coeficientes de variación mayores o iguales al 100%.

<sup>2</sup> Se destacan en negrita los valores de  $p$  del test Shapiro-Wilk mayores o iguales a 0,05.

#### 4.5.1.2 Análisis por sitio de monitoreo

La conductividad eléctrica (**Figura 40**) presentó una alta variabilidad entre los niveles observados entre campañas de monitoreo. Para el año 2022, los mayores niveles se registraron en los meses de octubre, noviembre y diciembre, mientras que para el año 2023 los mayores niveles se observaron en los meses enero, febrero y marzo, en todos los casos, el sitio Man\_3 (zona baja del humedal) registró los niveles máximos.

El oxígeno disuelto (**Figura 41**) presentó, en términos generales, una tendencia estable a lo largo del tiempo, con excepción de registros puntuales en la campaña agosto de 2021, y abril y mayo de 2023, los cuales exceden el límite que indica la detección de valores atípicos (línea punteada roja).

Es importante señalar que la detección de valores atípicos fue realizada utilizando el método del percentil, donde se definió un rango esperado basado en el rango intercuartílico (IQR), por lo que los valores que se encuentren fuera del rango delimitado son considerados atípicos. Estos datos anómalos pueden estar relacionados con incertidumbres derivadas de los métodos de monitoreo, lo que puede generar datos que distorsionan los resultados reales del análisis.

La saturación de oxígeno (**Figura 42**) presentó diferencias temporales. Para el año 2022, las mayores concentraciones se observan el sitio Man\_3 en la campaña de febrero, mientras que para el año 2023 Man\_4 presentó las mayores concentraciones en los meses mayo, junio y julio.

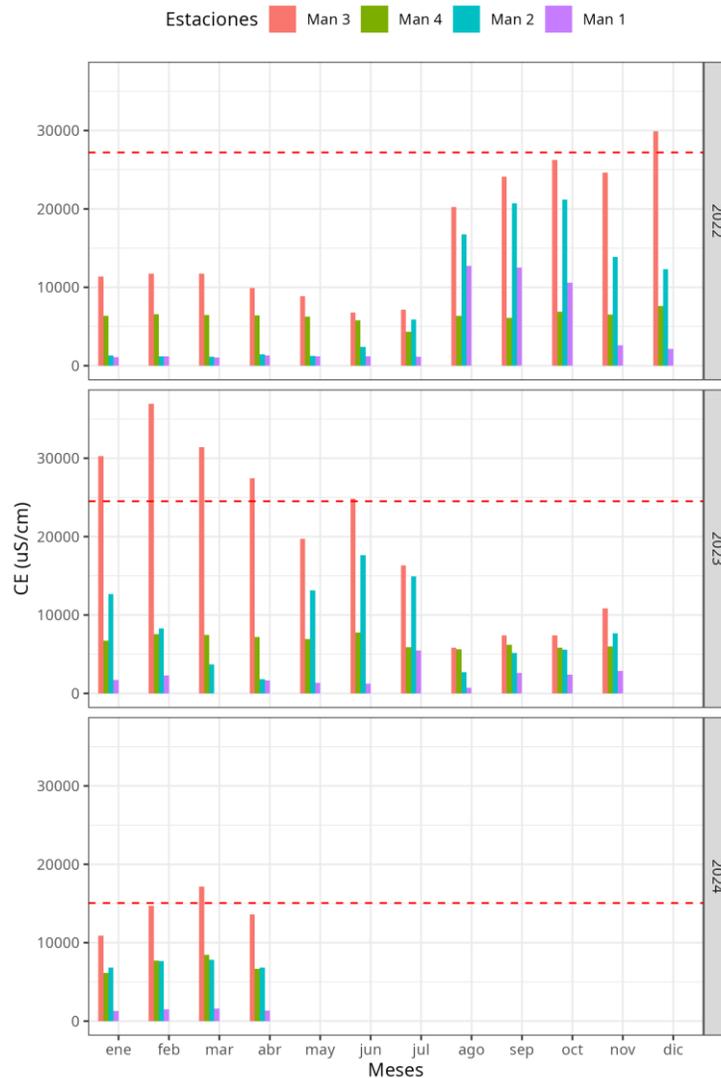
El pH (**Figura 43**) se mantuvo estable entre los distintos sitios y campañas de monitoreo, presentando una variación entre 6,52 y 10,61.

La salinidad (**Figura 44**) mostró variaciones tanto temporales como espaciales, con las concentraciones más altas registradas en el sitio de monitoreo Man\_3 (zona baja del humedal). Estas concentraciones fueron especialmente elevadas durante las campañas de julio y agosto de 2021, alcanzando valores cercanos a 35 PSU, lo que supera el límite establecido para la detección de valores atípicos (indicados por la línea punteada roja).

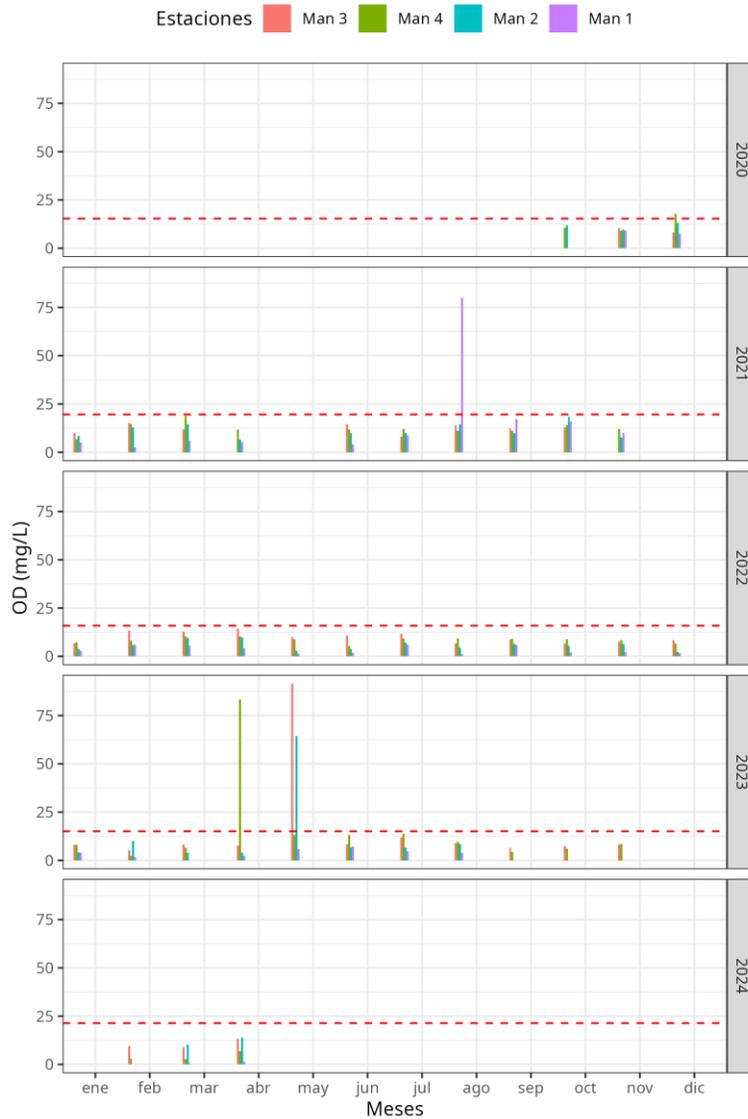
Los sólidos disueltos totales (**Figura 45**) también presentaron variaciones heterogéneas en términos temporales y espaciales. En 2022, los niveles más altos se observaron durante la

campana de diciembre, mientras que en 2023 se registraron en febrero. En todos los casos, el sitio Man\_3 presentó los valores más elevados.

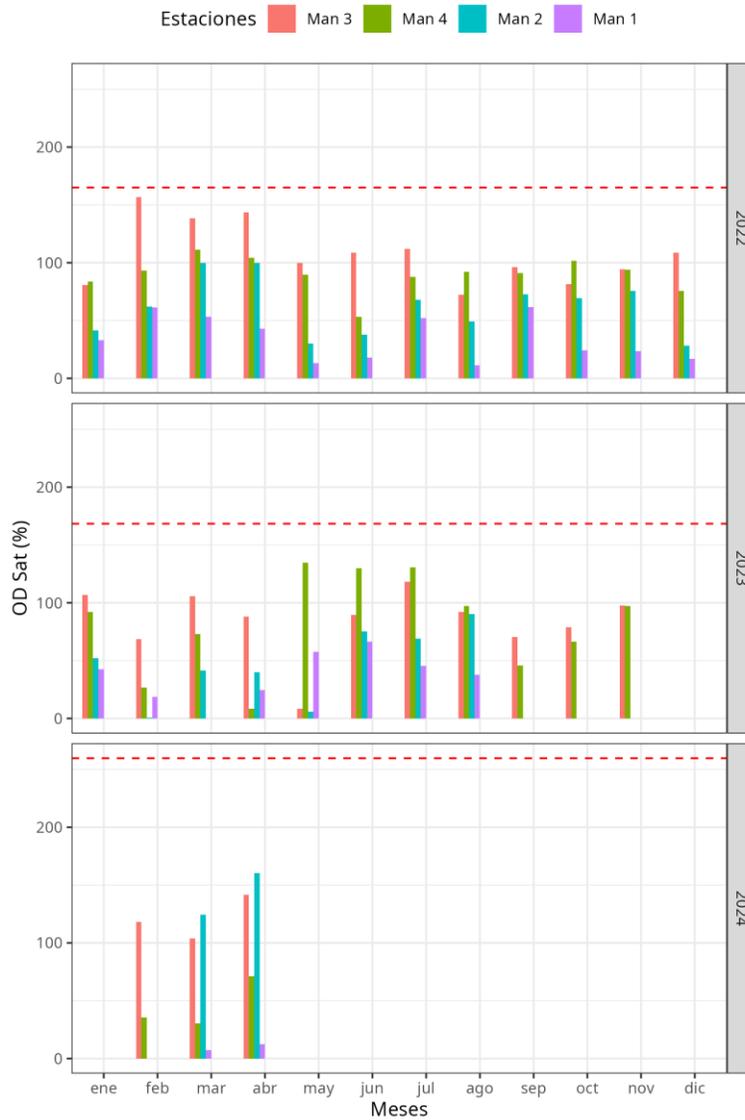
Finalmente, la temperatura (**Figura 46**) mostró una tendencia estable entre los diferentes sitios de monitoreo, con los niveles más altos registrados durante los meses estivales (enero, febrero, noviembre y diciembre), mientras que los menores niveles se registraron en los meses invernales (junio y julio).



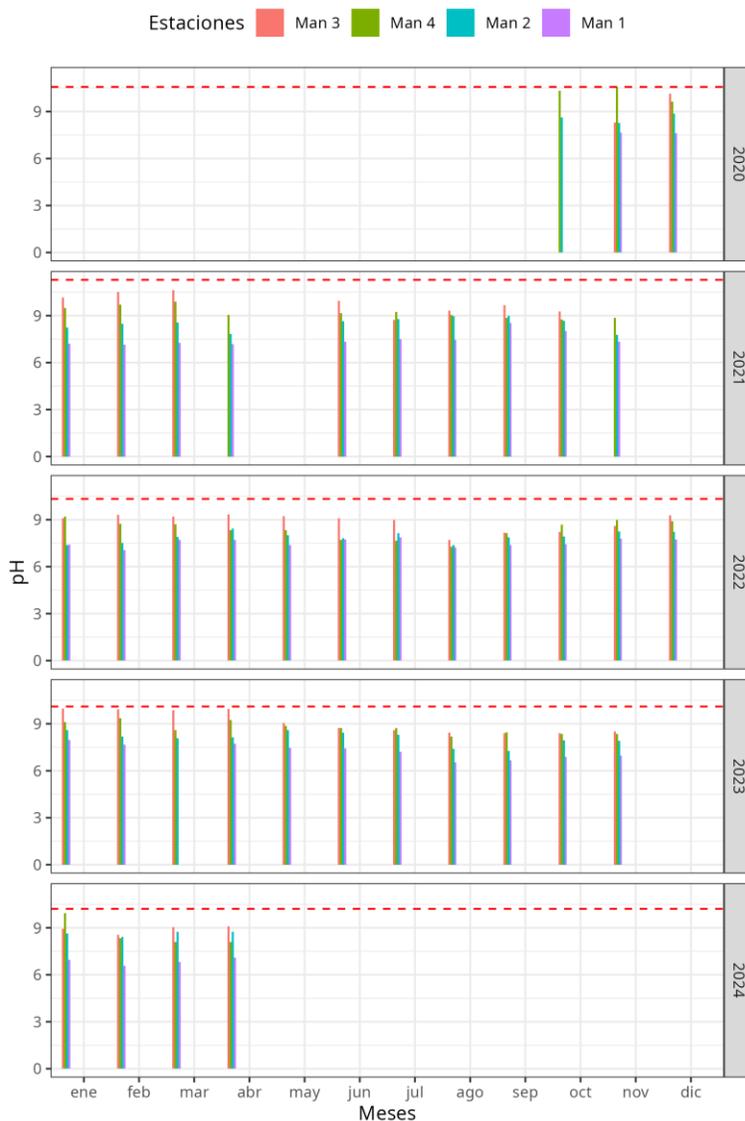
**Figura 40.** Conductividad Eléctrica (CE) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



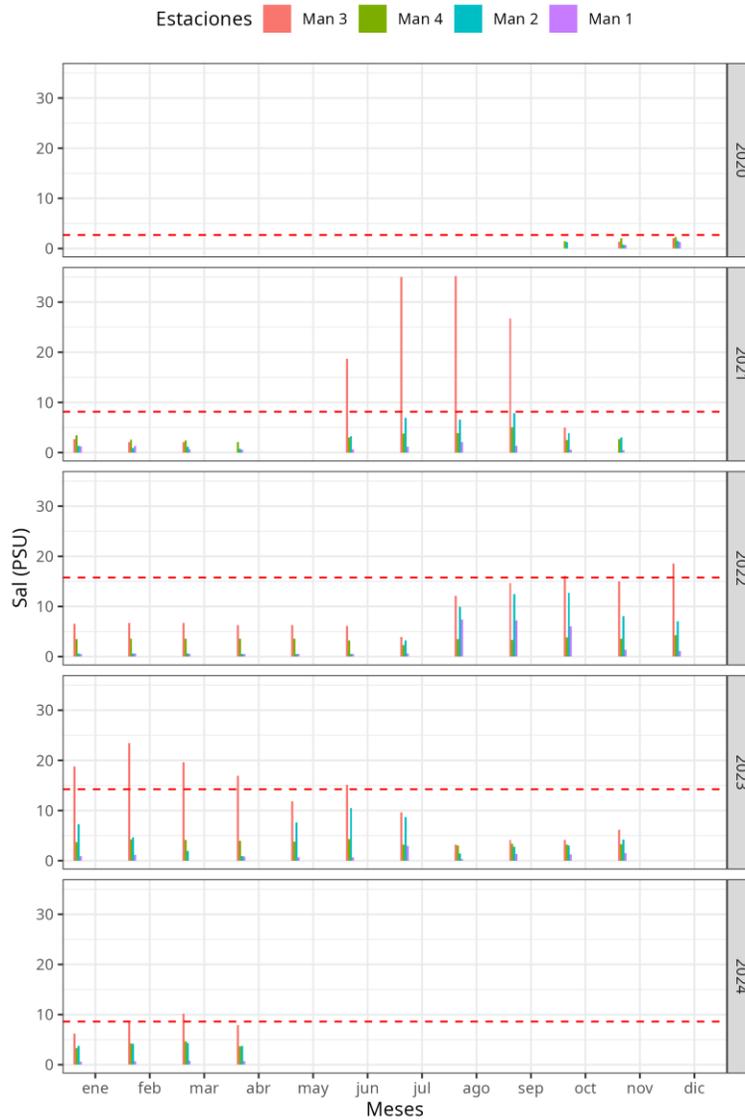
**Figura 41.** Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2020 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



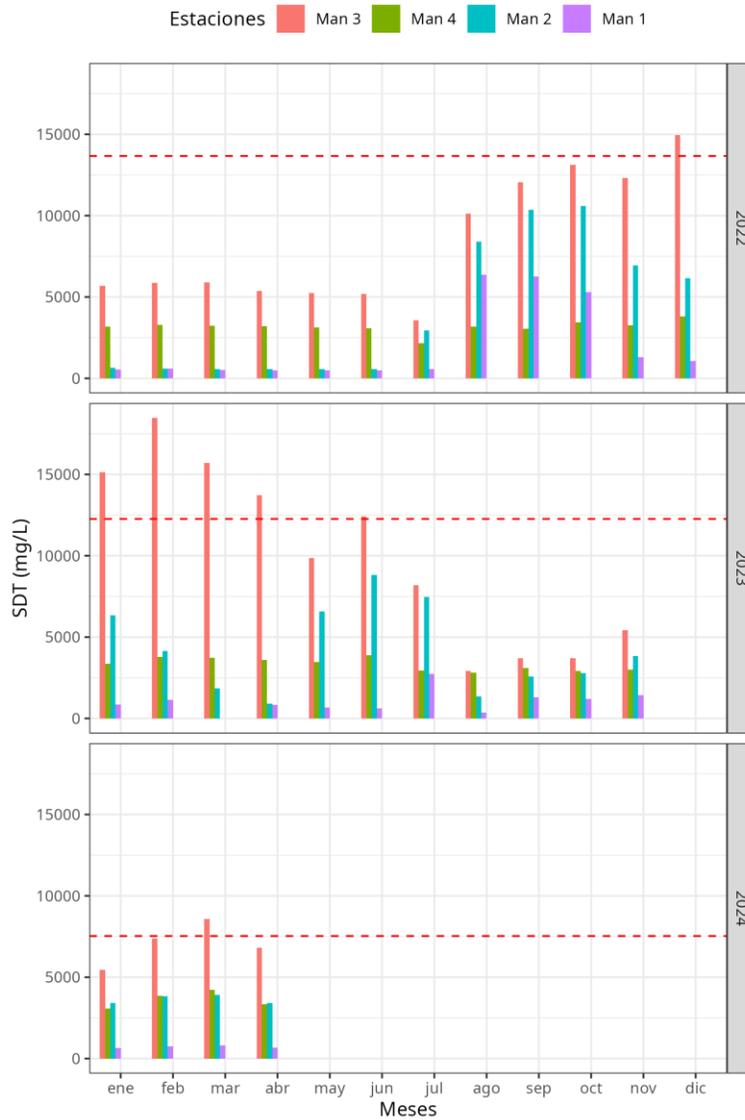
**Figura 42.** Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD Sat) cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



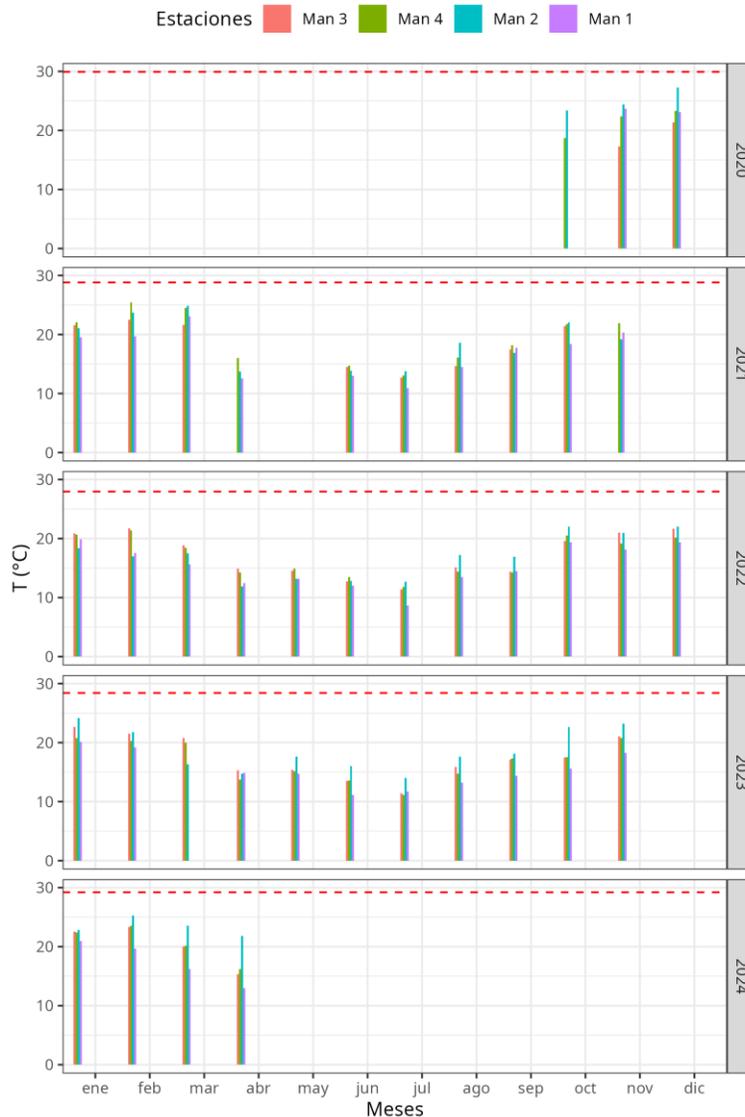
**Figura 43.** Valor de pH cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2020 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



**Figura 44.** Salinidad (Sal) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2020 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.

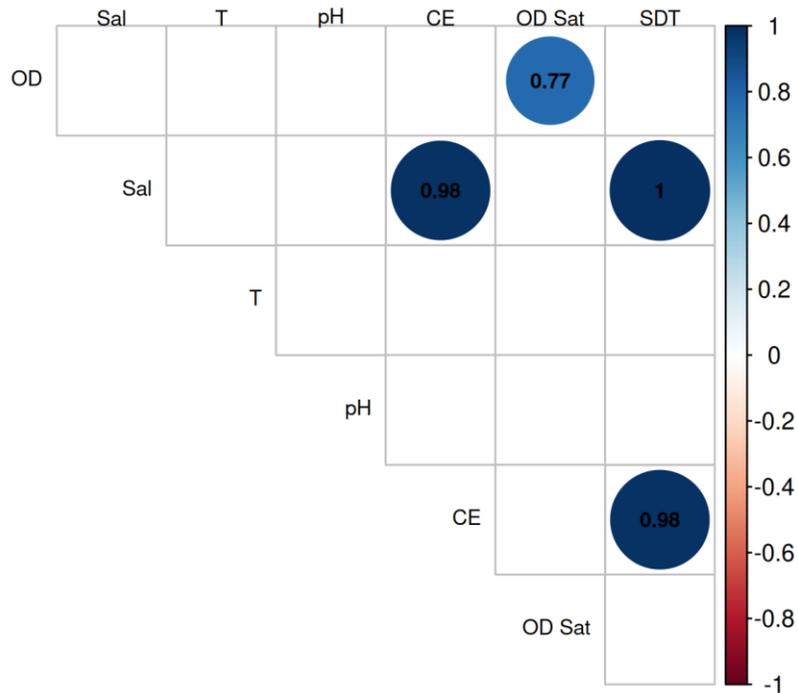


**Figura 45.** Concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



**Figura 46.** Temperatura (T) medida en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2020 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.

El análisis de correlaciones múltiples pareadas (**Figura 47**) revela que existen cuatro pares de parámetros fisicoquímicos que presentan correlaciones estadísticamente significativas positivas (círculos azules): conductividad eléctrica – salinidad (0,98); saturación de oxígeno – oxígeno disuelto (0,77); sólidos disueltos totales - salinidad (1,0), y sólidos disueltos totales y conductividad (0,98). No se presentaron correlaciones negativas.

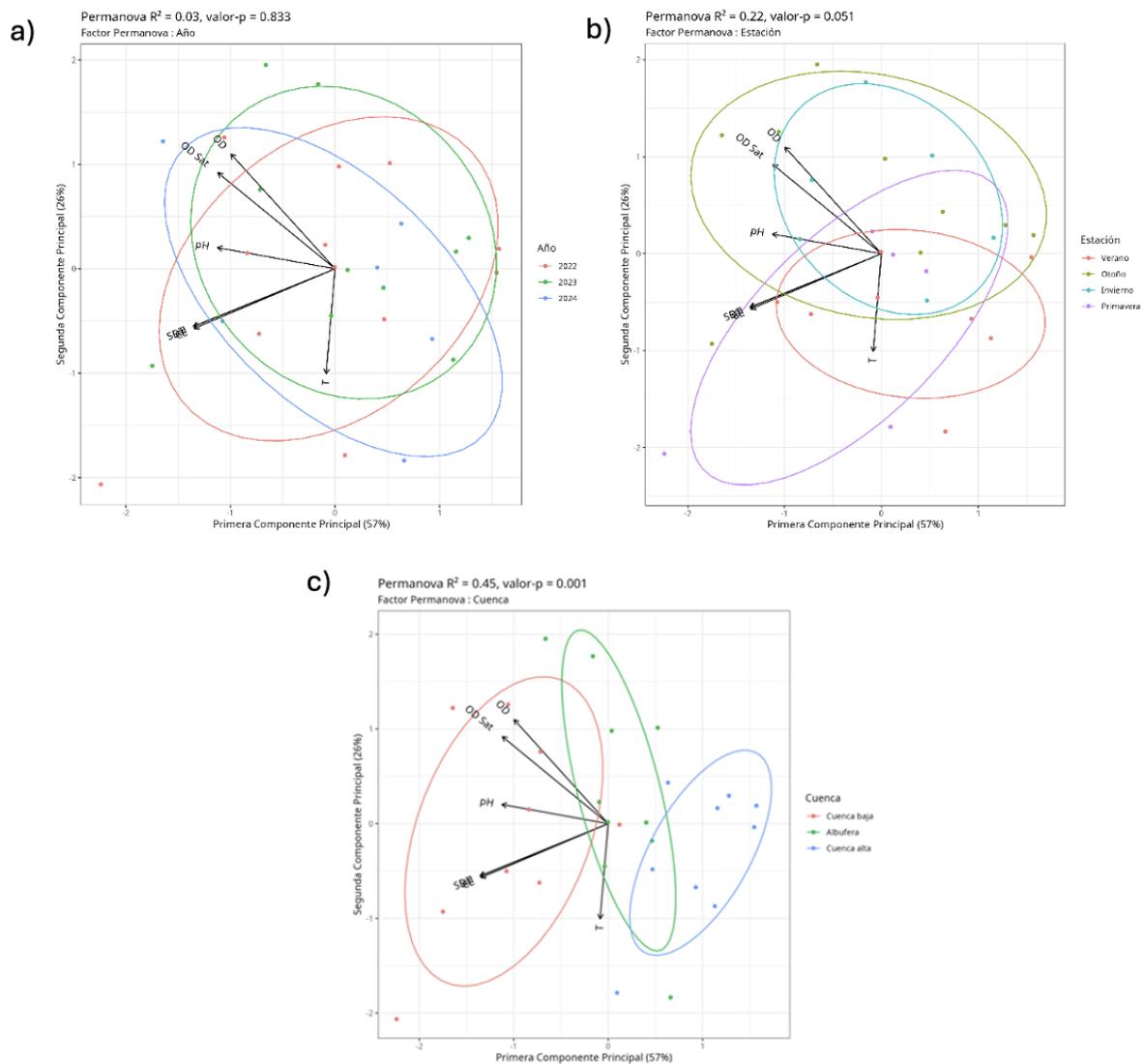


**Figura 47.** Correlograma para los parámetros medidos en la columna de agua que mostraron coeficientes de variación mayores a 0%. Se muestran solo las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. La escala de colores indica el sentido y nivel de correlación (coeficiente de correlación de Spearman dentro de cada círculo). Valores de correlación positivos están representados por tonos azules, mientras valores negativos están reportado en tonos rojos. Elaboración propia.

#### 4.5.1.3 Análisis multivariado

Dada la notable presencia de valores atípicos, especialmente en los registros del parámetro de oxígeno disuelto, se realizaron análisis de componentes principales (PCA) excluyendo los datos identificados como *outliers*. Este análisis se aplicó a los parámetros medidos, con el objetivo de evaluar patrones y tendencias. La **Figura 48** muestra un análisis de componentes principales (PCA) de los parámetros fisicoquímicos medidos en la columna de agua. Las elipses representan un intervalo de confianza del 95% para los puntajes agrupados por: a) Año, b) Estación climática, y c) Zona de la Cuenca. El análisis revela que la primera componente principal (PC1) explica el 26% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) captura el 47%. Esto indica que ambas dimensiones representan una proporción moderada de la variabilidad presente en los datos.

La **Figura 48a** muestra el análisis PCA, donde se utilizaron las campañas de monitoreo como variable explicativa de la variación entre parámetros ( $R^2 = 0,03$ ; valor-p = 0,833), mientras que **Figura 48b** ilustra el PCA con las estaciones de monitoreo como factor explicativo ( $R^2 = 0,22$ ; valor-p = 0,833). En ambos gráficos, no se observa una tendencia marcada entre los años o estaciones de monitoreo respecto a la concentración de parámetros. En contraste, la **Figura 48c**, que emplea las zonas de la cuenca como factor ( $R^2 = 0,45$ ; valor-p = 0,001), revela una diferenciación marcada en la concentración de parámetros (elipses solapadas). En este caso, la zona baja de la cuenca muestra los niveles más altos de oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, pH, y sólidos disueltos, mientras que la Albufera, tratada como un ecosistema independiente del humedal Mantagua, se distingue por tener mayores niveles de temperatura.



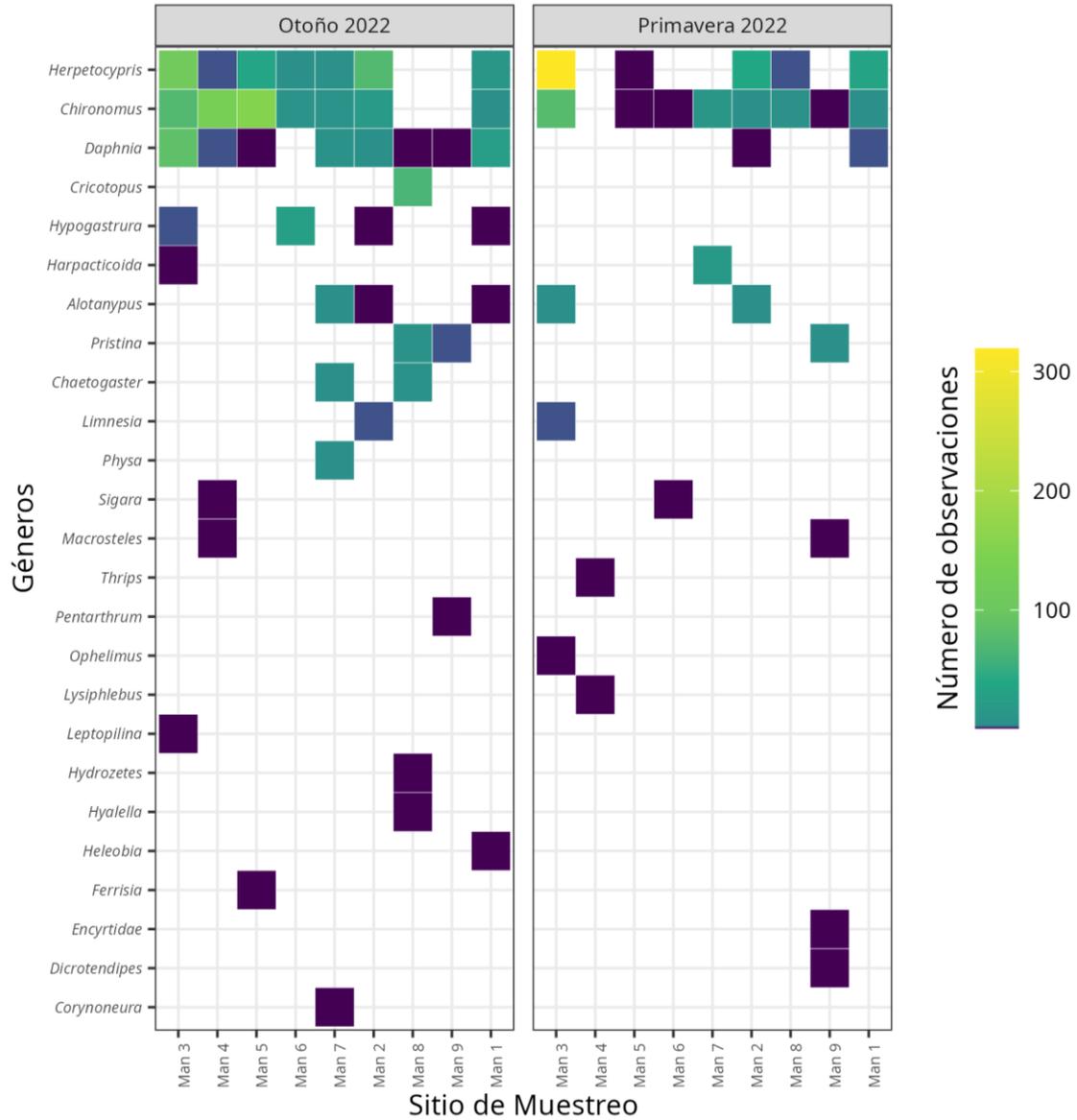
**Figura 48.** Análisis de componentes principales (PCA) para los valores de los parámetros bajo el límite de detección de puntos atípicos. Las elipses representan el 95% de confianza para los puntajes agrupados por a) Año, b) Estación climática, y c) Cuenca. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Elaboración propia.

## 4.5.2 Biota

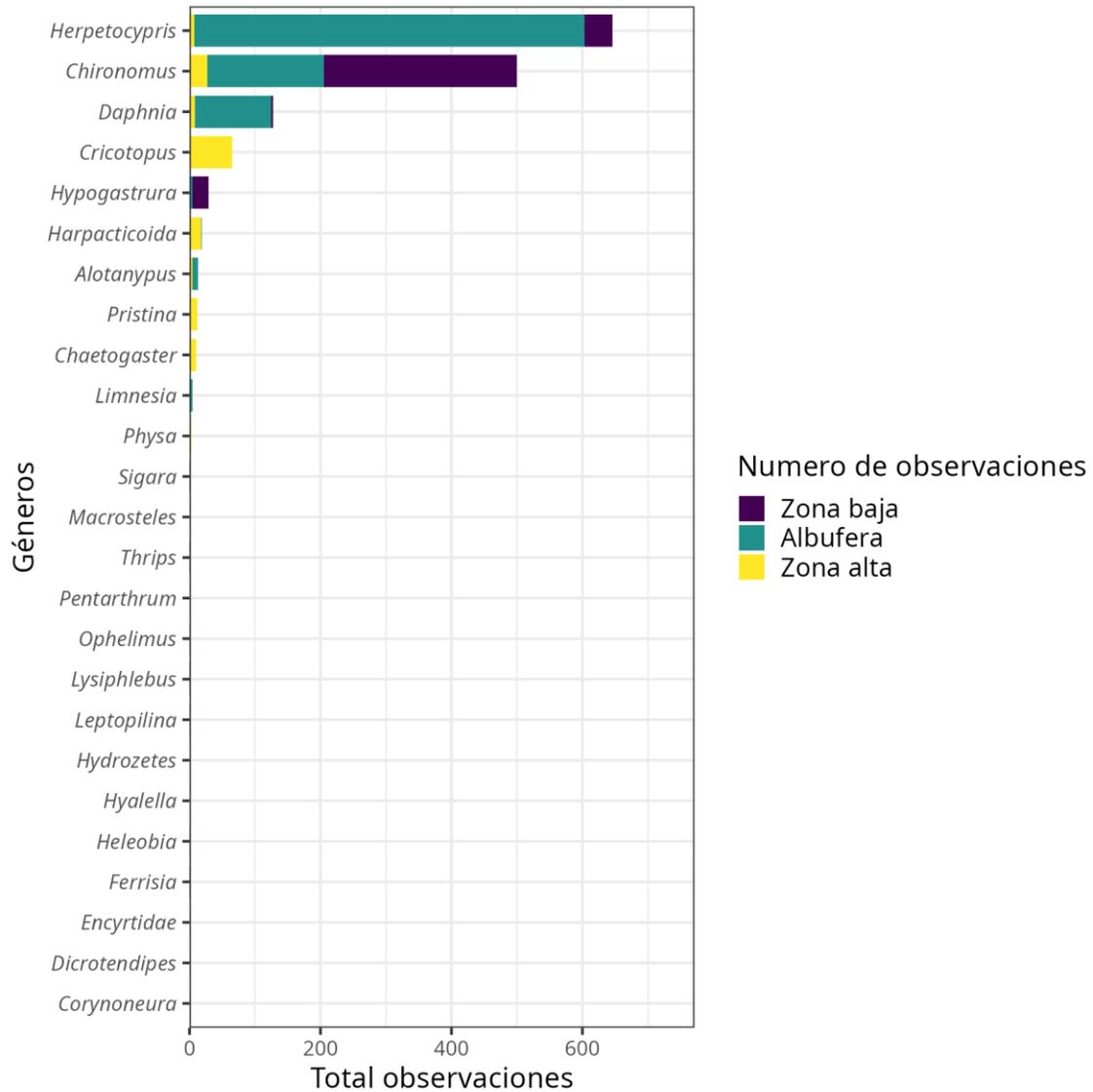
### 4.5.2.1 *Macroinvertebrados bentónicos*

En el caso de los macroinvertebrados bentónicos, los análisis se realizaron a nivel de géneros debido a la naturaleza de los datos. A lo largo de las campañas de monitoreo (otoño y primavera de 2022) se identificaron individuos pertenecientes a 25 géneros, con *Herpetocypris*, *Chironomus* y *Daphnia* siendo los más abundantes, contabilizándose 646, 500 y 128 individuos, respectivamente. Temporalmente, se registraron 904 individuos en otoño y 541 en primavera, reflejando una notable variación en abundancia entre ambas campañas (**Figura 49**). Por ejemplo, el género *Daphnia* fue registrado en la mayoría de las estaciones durante el otoño, pero solo en Man\_2 y Man\_1 en primavera, mientras que géneros como *Cricotopus* y *Hypogastrura* aparecieron exclusivamente durante la campaña de otoño.

Desde un punto de vista espacial (**Figura 50**), la albufera (sitios de muestreo Man\_1, Man\_2 y Man\_3), laguna costera independiente del evaluada como sistema independiente del humedal Mantagua, es la zona donde se contabilizaron las mayores abundancias de macroinvertebrados, dado principalmente a los registros de los géneros *Herpetocypris* y *Chironomus*. La zona baja del humedal (sitios Man\_4, Man\_5 y Man\_6), presentó abundancias importantes únicamente para el género *Chironomus*. En contraparte, la zona alta (sitios Man\_7, Man\_8 y Man\_9) no destaca en términos de abundancias.

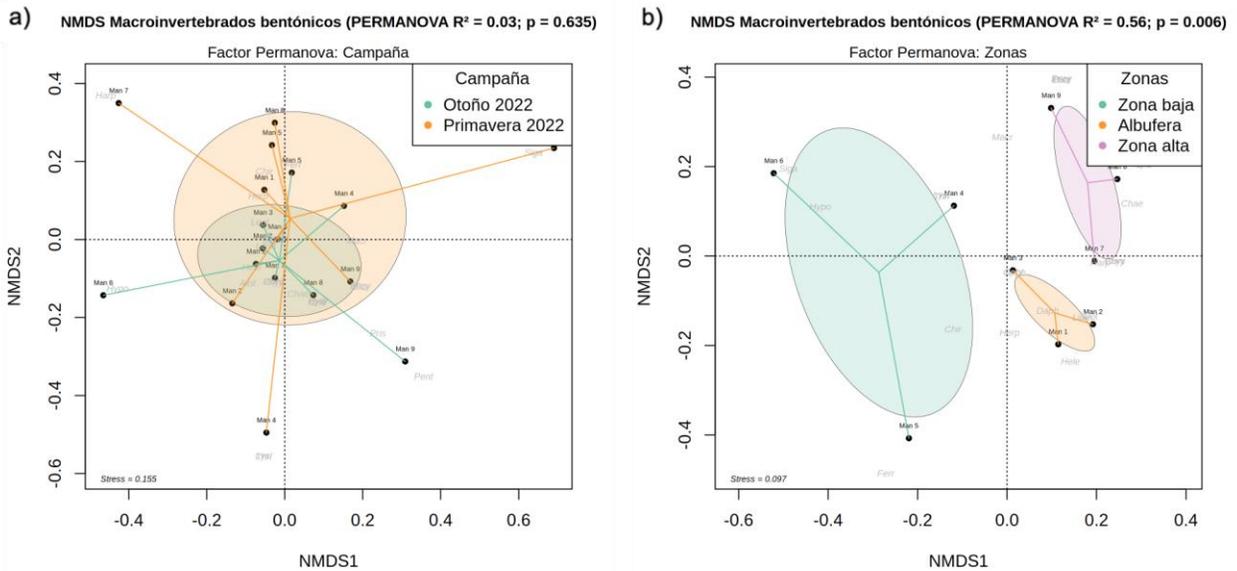


**Figura 49.** Número de observaciones (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de género de macroinvertebrados bentónicos por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia.



**Figura 50.** Número de observaciones totales (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de género de macroinvertebrados bentónicos por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

Los resultados de estructura comunitaria indican que no existen diferencias significativas en la estructura comunitaria en sus dimensiones temporales (campaña; **Figura 51a**), sin embargo, para su dimensión espacial si presenta diferencias significativas (zonas; **Figura 51b**), donde se observa una clara la diferenciación en la composición de especies entre las zonas alta (Man\_7 a Man9) y baja del humedal (Man\_4 a Man\_6), y de la albufera (Man\_1 a Man\_3).

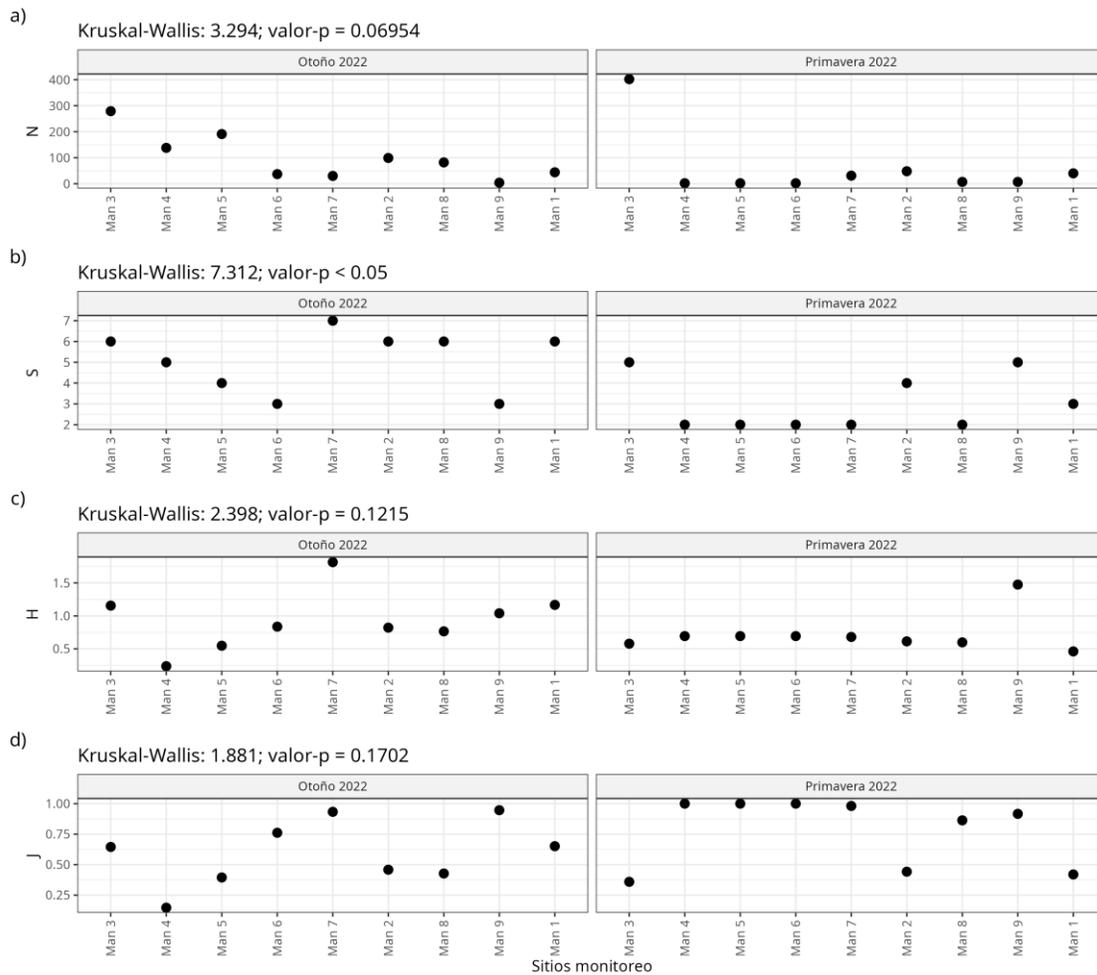


**Figura 51.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de los géneros. En a) puntajes agrupados por Campaña y en b) por Cuenca. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Las zonas estuarinas, laguna independiente y fluvial se corresponden con las cuencas, por lo que el patrón detectado es el mismo independiente del nombre asignado a los sectores que agrupan las estaciones de monitoreo. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

La comparación de los índices comunitarios entre campañas revela diferencias significativas únicamente en la riqueza de géneros (**Figura 52b**). En términos de abundancia, la estación Man\_3 registró los valores más altos en ambas campañas (**Figura 52a**). Tanto la riqueza como la diversidad de géneros fueron, en promedio, mayores durante el otoño (**Figura 52b y Figura 52c**). Por último, la uniformidad mostró una mayor variación en otoño, mientras que los valores más altos se alcanzaron en primavera (**Figura 52d**).

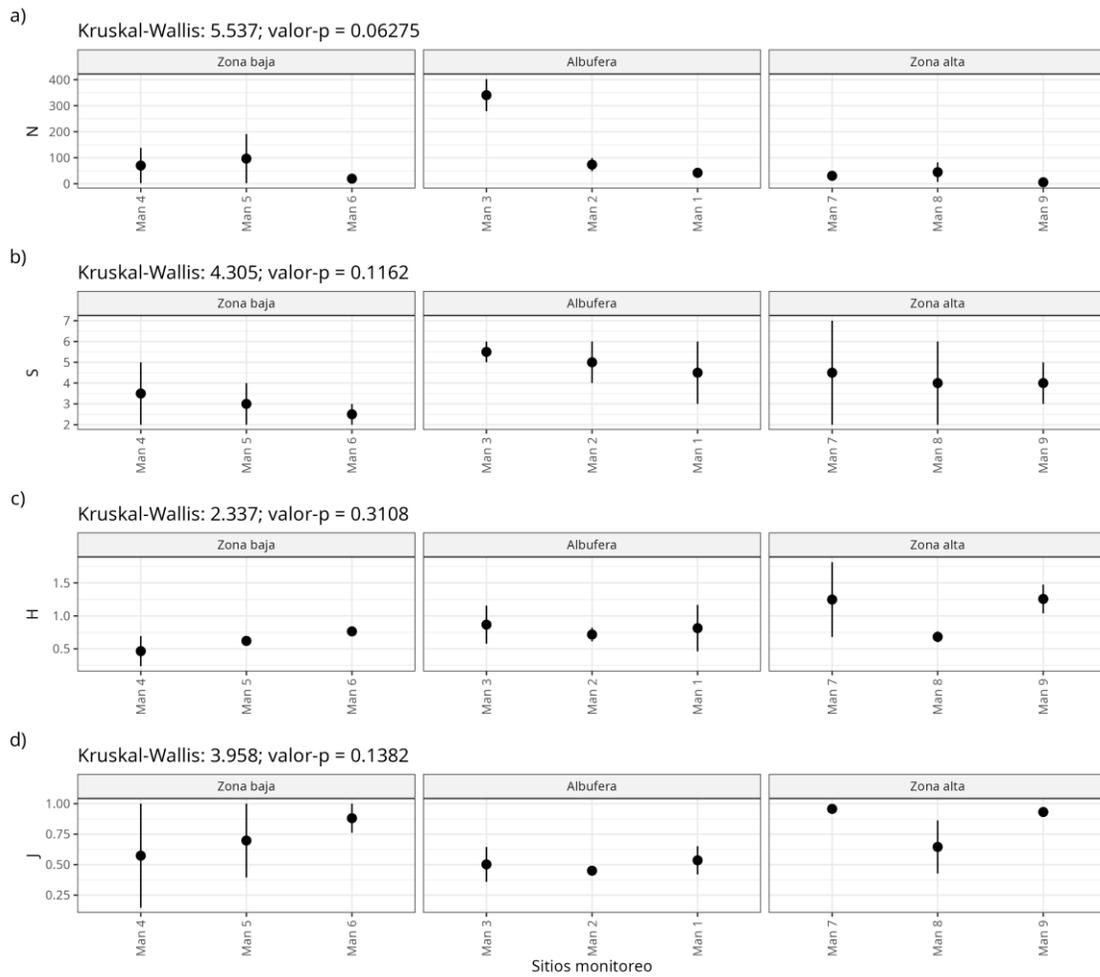
En términos espaciales (zonas del humedal), la comparación de los índices comunitarios indica que no existen diferencias significativas entre cuencas para ninguno de los índices calculados (**Figura 53**). En general, la abundancia (N) es mayor en albufera, destacando la estación Man\_3 (**Figura 53a**). De igual forma, riqueza de géneros (S) presentó, en promedio, valores más altos en la albufera, donde Man\_3 sigue mostrando el mayor valor de riqueza (**Figura 53b**). La diversidad de géneros (H) es, en general, mayor en la zona alta, particularmente en la estación Man\_7 (**Figura 53c**). Por último, la uniformidad presenta una mayor variación a nivel espacial, donde la zona alta presentó, en promedio, los mayores niveles, particularmente en Man\_7 y Man\_9 (**Figura 53d**).

Factor: Campaña



**Figura 52.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

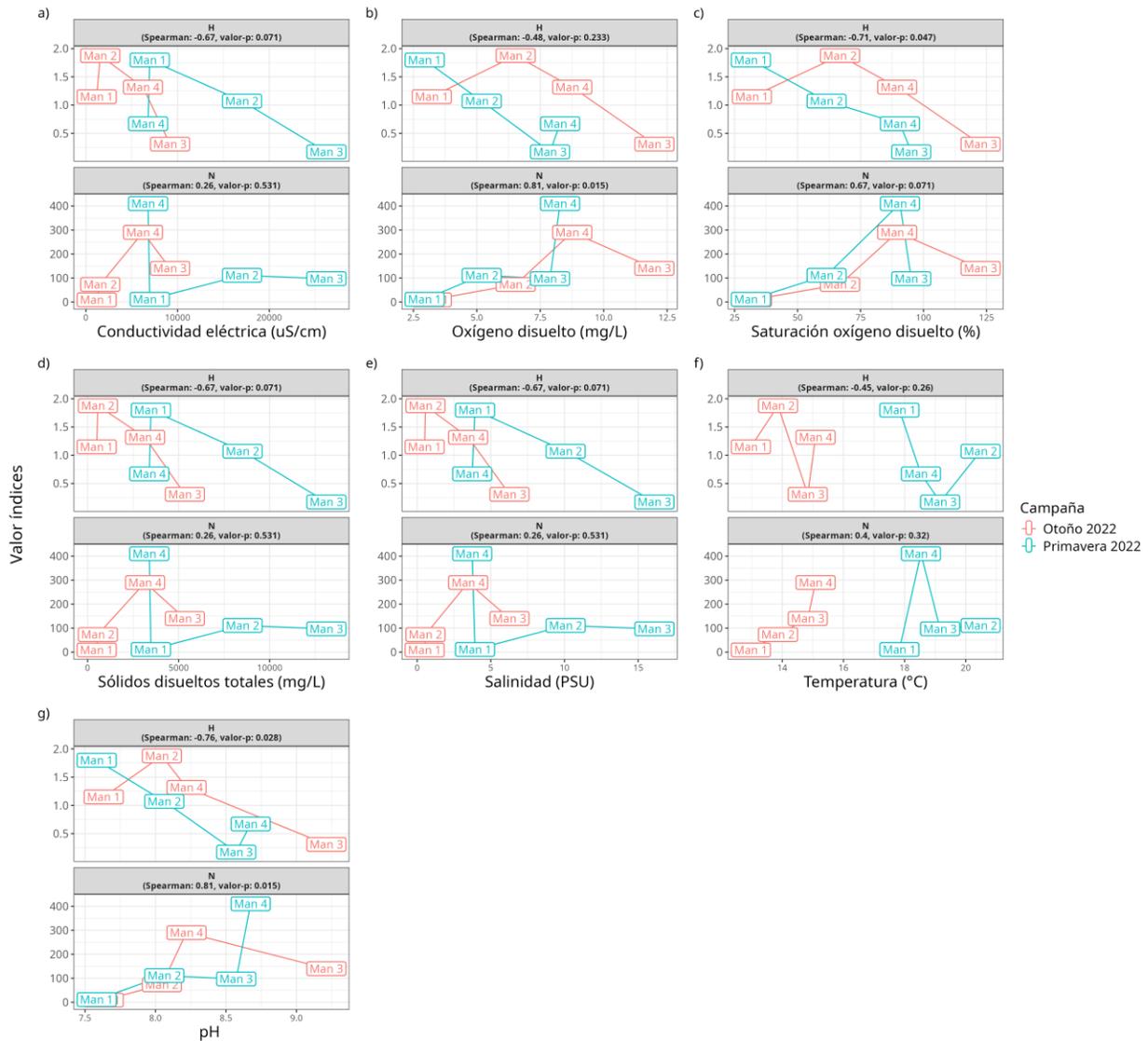
Factor: Zona



**Figura 53.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Adicionalmente, en este humedal se evaluó la relación entre diversos parámetros fisicoquímicos y algunos componentes de la diversidad de los grupos taxonómicos monitoreados (diversidad de taxones y abundancia de individuos) mediante un análisis de correlación de Spearman. Para ello, se consideraron y homologaron, dentro de lo posible, las estaciones y campañas en ambos conjuntos de datos (calidad del agua y biodiversidad). En cuanto a la fauna de macroinvertebrados bentónicos, los resultados de este análisis indican que, en general, varios parámetros fisicoquímicos presentan una correlación negativa (coeficientes de correlación de Spearman negativos) con la diversidad (H; panel superior de cada gráfico). Esta relación es estadísticamente significativa (valores de  $p < 0,05$ ) para la saturación de oxígeno y el pH, y el patrón es consistente a lo largo de las distintas campañas (**Figura 54c y 54g**). A su vez, la abundancia de individuos (N; panel inferior de cada gráfico) muestra una correlación positiva (coeficientes de correlación de Spearman positivos) estadísticamente significativa con el oxígeno disuelto y el pH (**Figuras 54b y 54g**); en este último caso, la correlación es particularmente marcada durante la campaña de primavera. Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con cautela debido a la escasez de datos y a las diferencias entre las estaciones de los distintos tipos de muestreo.

Macroinvertebrados bentónicos



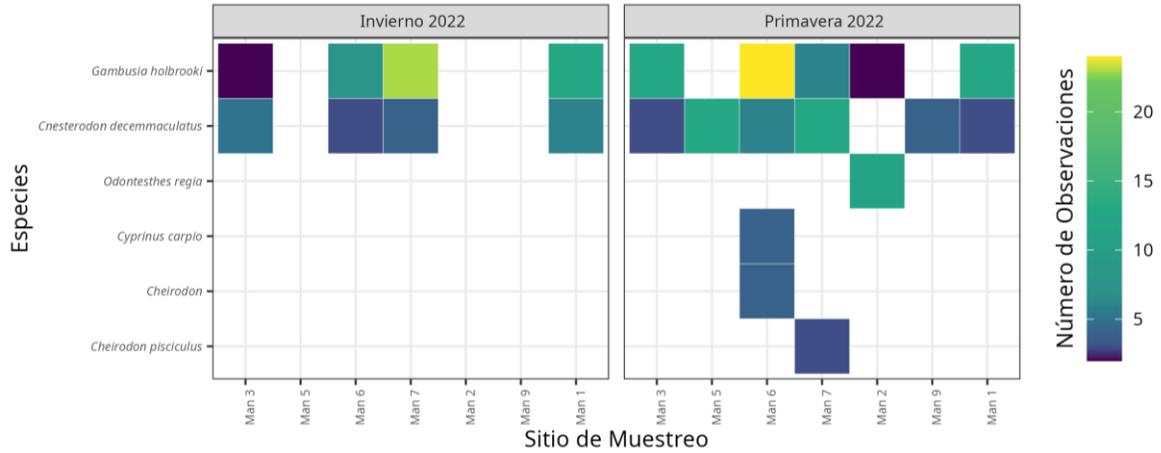
**Figura 54.** Relación entre la diversidad (H) y la abundancia (N) de la fauna de macroinvertebrados bentónicos y los parámetros fisicoquímicos medidos: a) Conductividad eléctrica, b) Oxígeno disuelto, c) Saturación de oxígeno, d) Sólidos disueltos totales, e) Salinidad, f) Temperatura, y g) pH. Los colores de las líneas y etiquetas denotan las campañas de monitoreo. Los valores de  $p < 0,05$  se consideran estadísticamente significativos. Elaboración propia.

#### 4.5.2.2 Ictiofauna

Se registraron un total de 164 individuos colectados de fauna íctica del humedal Mantagua para las campañas de monitoreo de invierno y primavera de 2022, los cuales se distribuyeron en seis especies: *Cheirodon sp.*, *Cheirodon pisciculus*, *Cnesterodon decemmaculatus*, *Cyprinus carpio*, *Gambusia holbrooki* y *Odontesthes regia*.

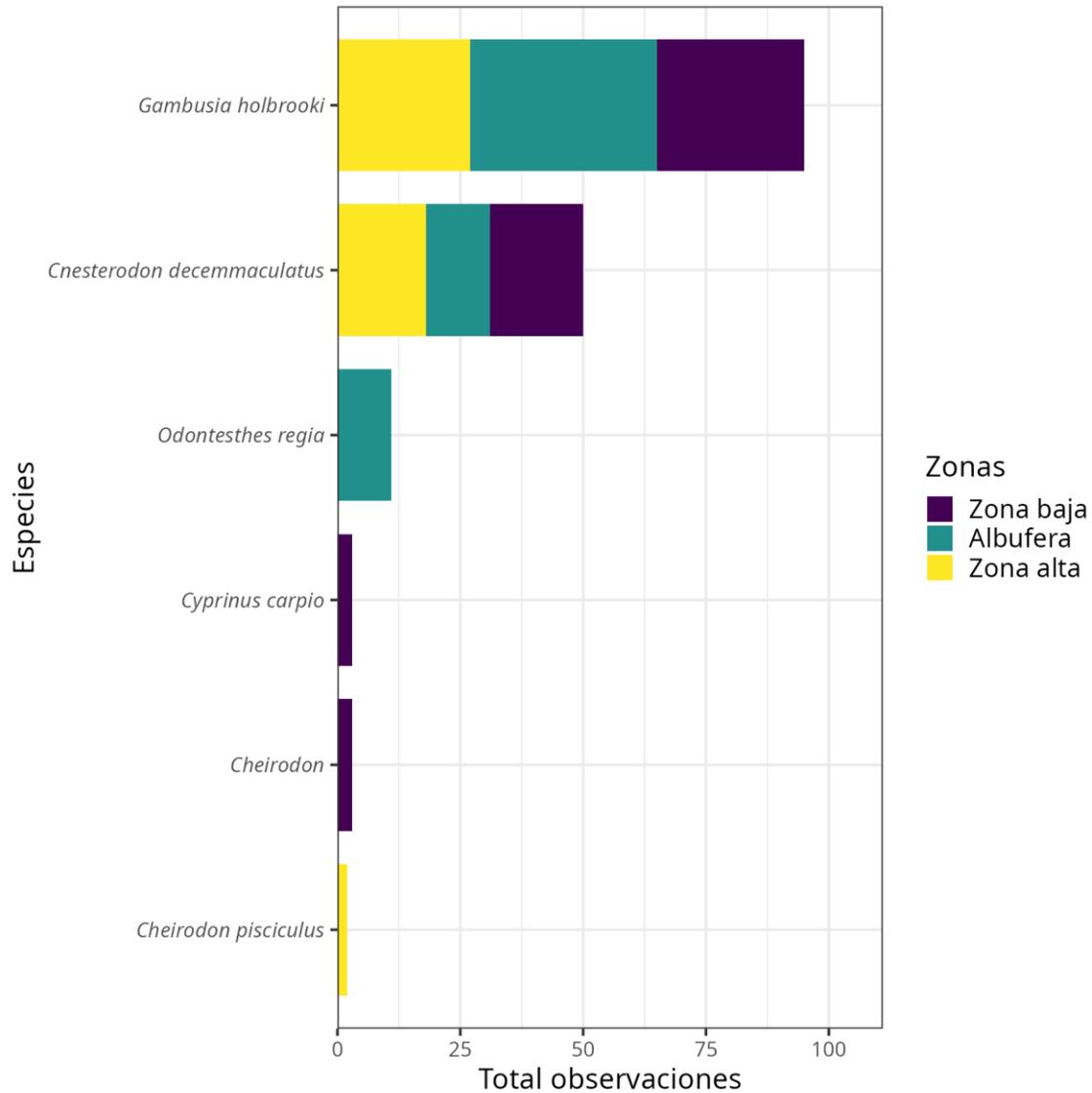
Respecto a la abundancia de la ictiofauna, la especie *Gambusia holbrooki* presentó los mayores niveles, acumulando un total de 95 individuos entre las dos campañas de monitoreo. En segundo lugar, los mayores niveles de abundancia los exhibe la especie *Cnesterodon decemmaculatus* con 50 individuos observados en las campañas. En contraparte, las menores abundancias fueron exhibidas por las especies *Cheirodon pisciculus* y *Cheirodon sp.*, con dos y tres individuos, respectivamente.

A nivel temporal, la abundancia de ictiofauna por campaña de monitoreo (**Figura 55**), refleja que invierno de 2022 presenta una abundancia total de 55 individuos, distribuidos entre las especies *Cnesterodon decemmaculatus* (N =14) y *Gambusia holbrooki* (N =42). En esta campaña, destaca el sitio de monitoreo Man\_7 al presentan los mayores niveles de abundancia en términos espaciales. Por su parte, en la campaña de primavera de 2022 presentó una abundancia total de 108 individuos, distribuidos entre las seis especies presentes en la campaña. De forma particular, *Gambusia holbrooki* representa la mayor abundancia con 53 individuos, seguida de *Cnesterodon decemmaculatus* con 36 individuos. Los menores niveles de abundancia fueron registrados para las especies *Cheirodon pisciculus* (N = 2) y *Cheirodon sp.* (N =3).



**Figura 55.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de ictiofauna por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia.

A nivel espacial, la abundancia de ictiofauna (**Figura 56**) muestra una distribución homogénea entre la parte alta (Man\_7 a Man\_9) y la parte baja del humedal Mantagua (Man\_4 a Man\_6). Las dos especies predominantes en el sistema, *Gambusia holbrooki* y *Cnesterodon decemmaculatus*, presentan niveles similares de abundancia en ambas zonas del humedal. En contraste, la albufera (Man\_1 a Man\_3) registró, en general, las mayores abundancias de fauna íctica, destacándose particularmente los registros de *Gambusia holbrooki*. Además, es relevante mencionar los valores de abundancia observados para *Odontesthes regia* en esta misma área.

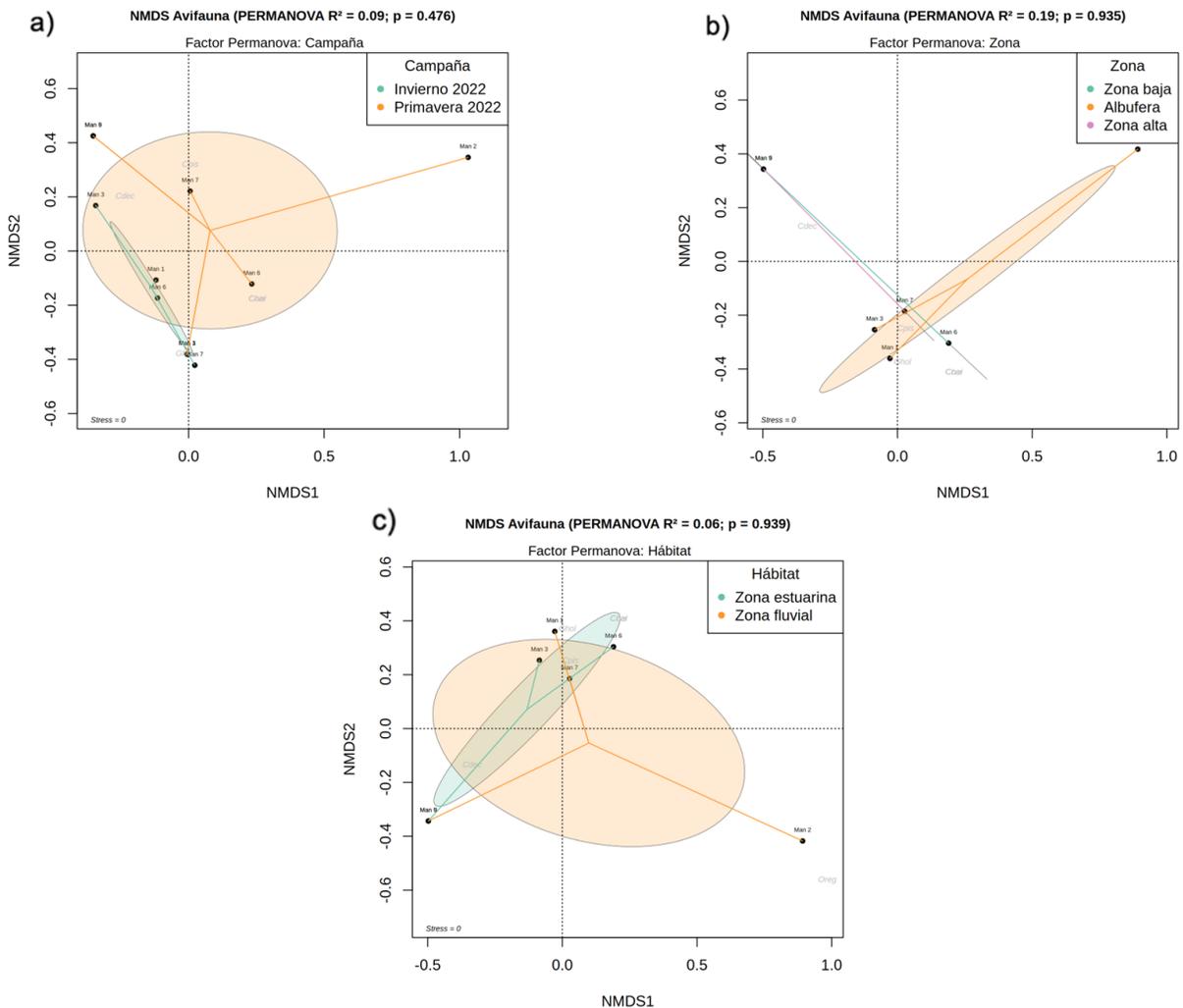


**Figura 56.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de ictiofauna por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

El análisis de la estructura comunitaria de ictiofauna por zona de monitoreo (**Figura 57**) se realizó considerando el total de taxones registrados en cada campaña de monitoreo, agrupados en a) Campaña, en b) Zona, y c) Hábitat.

La **Figura 76a** presenta el análisis de la estructura comunitaria agrupado por campaña de monitoreo, en el cual no se observan diferencias estadísticamente significativas en la composición de taxa (PERMANOVA  $R^2 = 0,09$ ;  $p = 0,476$ ). La **Figura 57b** muestra el análisis

agrupado por parte de la cuenca, también sin diferencias significativas en la composición de taxa (PERMANOVA  $R^2 = 0,19$ ;  $p = 0,935$ ). De igual manera, la **Figura 57c** expone el análisis agrupado por zona ecológica (estuarina y fluvial), sin diferencias significativas en la composición de taxa (PERMANOVA  $R^2 = 0,06$ ;  $p = 0,939$ ). Ninguno de los análisis revela un patrón claro en la presencia de especies de ictiofauna a nivel espacial, temporal o ecológico. No obstante, se destaca que las variaciones observadas en los tres análisis (**Figuras 57a, 57b y 57c**) están principalmente influenciadas por la presencia de *Odontesthes regia* (Oreg), particularmente en el sitio Man\_2.



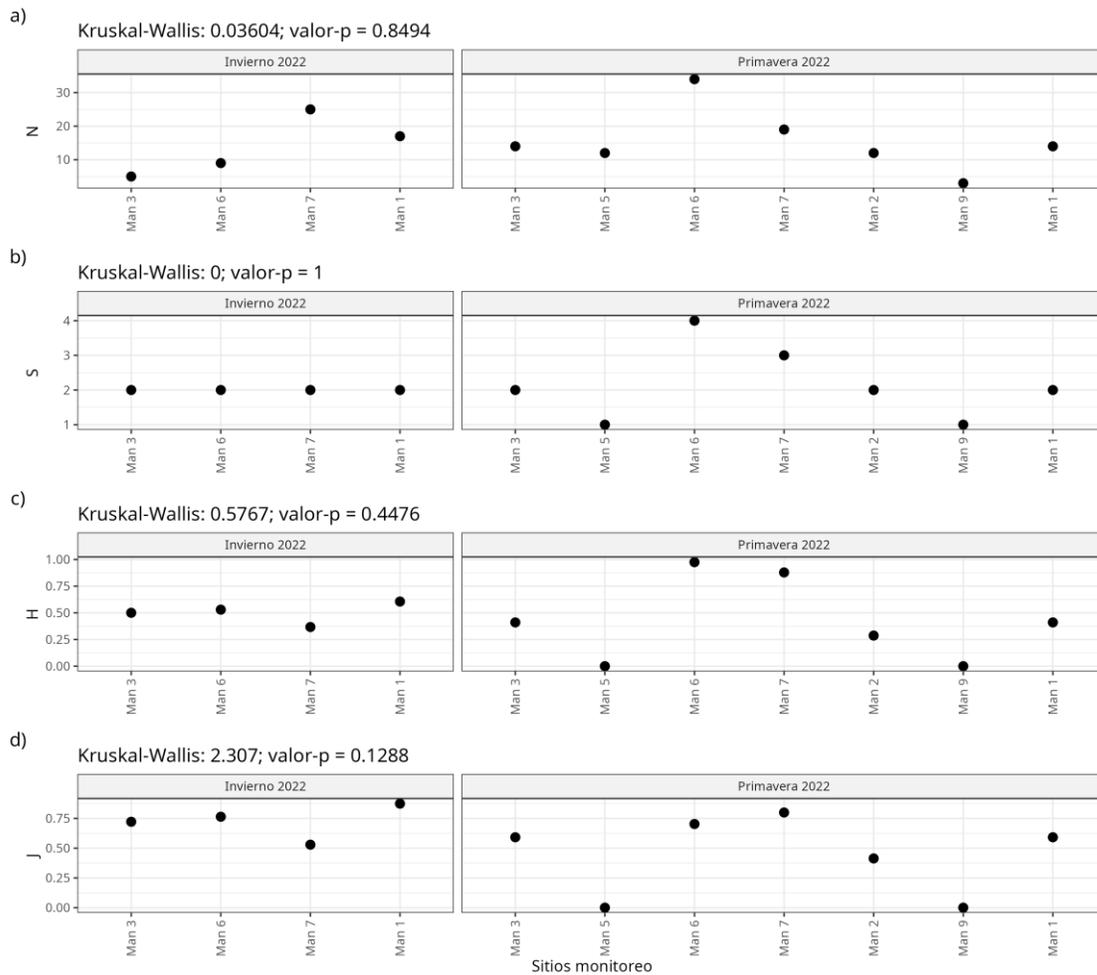
**Figura 57.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Campaña, en b) por Zona, y en c) por Hábitat. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Elaboración propia.

El análisis de los índices de biodiversidad para la ictiofauna reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas en todos los indicadores Abundancia (N), Riqueza de taxones (S), Diversidad de Shannon (H), y Uniformidad de Pielou (J), entre las distintas campañas de monitoreo, según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ; **Figura 58**).

Respecto a la abundancia (N) registrada durante las campañas de monitoreo, se observa que los mayores niveles se encontraron en el sitio de monitoreo Man\_6 durante primavera de 2022 ( $N > 30$ ), seguida de Man\_7 durante la campaña invierno 2022 ( $N = 25$ ). El resto de las estaciones presentaron abundancias moderadas con niveles por debajo de 20 individuos. La Riqueza de taxones (S) presentó niveles bajos en todos los sitios de monitoreo durante la campaña invierno 2022 ( $S = 2$ ), mientras que en la campaña primavera de 2022 se registraron los mayores niveles, destacando el sitio Man\_6 con cuatro especies registradas.

Los valores de diversidad de Shannon (H) fueron generalmente bajos a moderados en todos los sitios de monitoreo, con niveles inferiores a 1,0 en ambas campañas de monitoreo. Los mayores niveles de diversidad se observaron en el sitio Man\_6 durante primavera de 2022, alcanzando un nivel cercano a  $H = 1,0$ . Por otro lado, los valores del índice de Uniformidad de Pielou (J') mostraron un comportamiento similar a la diversidad de Shannon, donde el sitio Man\_1 registró el nivel más alto durante la campaña invierno de 2022, alcanzando un valor de  $J' > 0,75$ .

Factor: Campaña

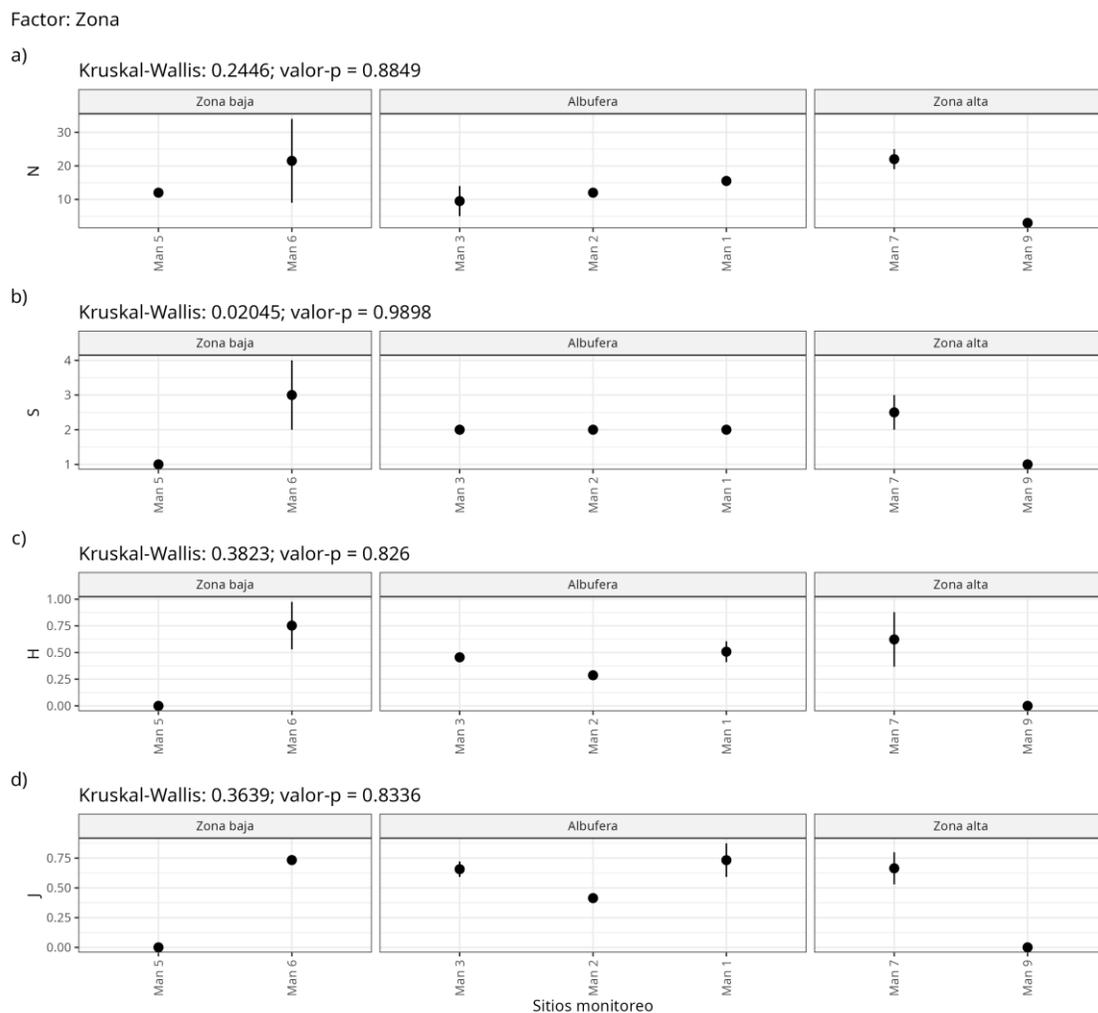


**Figura 58.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

El análisis de los índices de biodiversidad para la ictiofauna reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas en todos los indicadores Abundancia (N), Riqueza de taxones (S), Diversidad de Shannon (H), y Uniformidad de Pielou (J), entre las distintas zonas del humedal, según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ; **Figura 59**).

Todos los índices evaluados mostraron una tendencia similar entre sí, con los niveles más altos distribuidos entre la zona alta y baja del humedal. En todos los casos, se destacaron los valores

registrados en los sitios Man\_7 (zona alta) y Man\_6 (zona baja). Por el contrario, los niveles más bajos de los índices se observaron en los sitios Man\_9 (parte alta) y Man\_5 (parte baja). En cuanto a la abundancia (N), se registró una abundancia máxima de  $N > 20$ , mientras que la riqueza alcanzó niveles de 3 especies (Man\_6). Los valores de diversidad de Shannon (H) fueron generalmente bajos en ambas zonas de la cuenca, con niveles inferiores a 1,0 en todos los sitios. De manera similar, los valores del índice de Uniformidad de Pielou (J') también fueron bajos en ambas zonas, con  $J > 0,75$ .

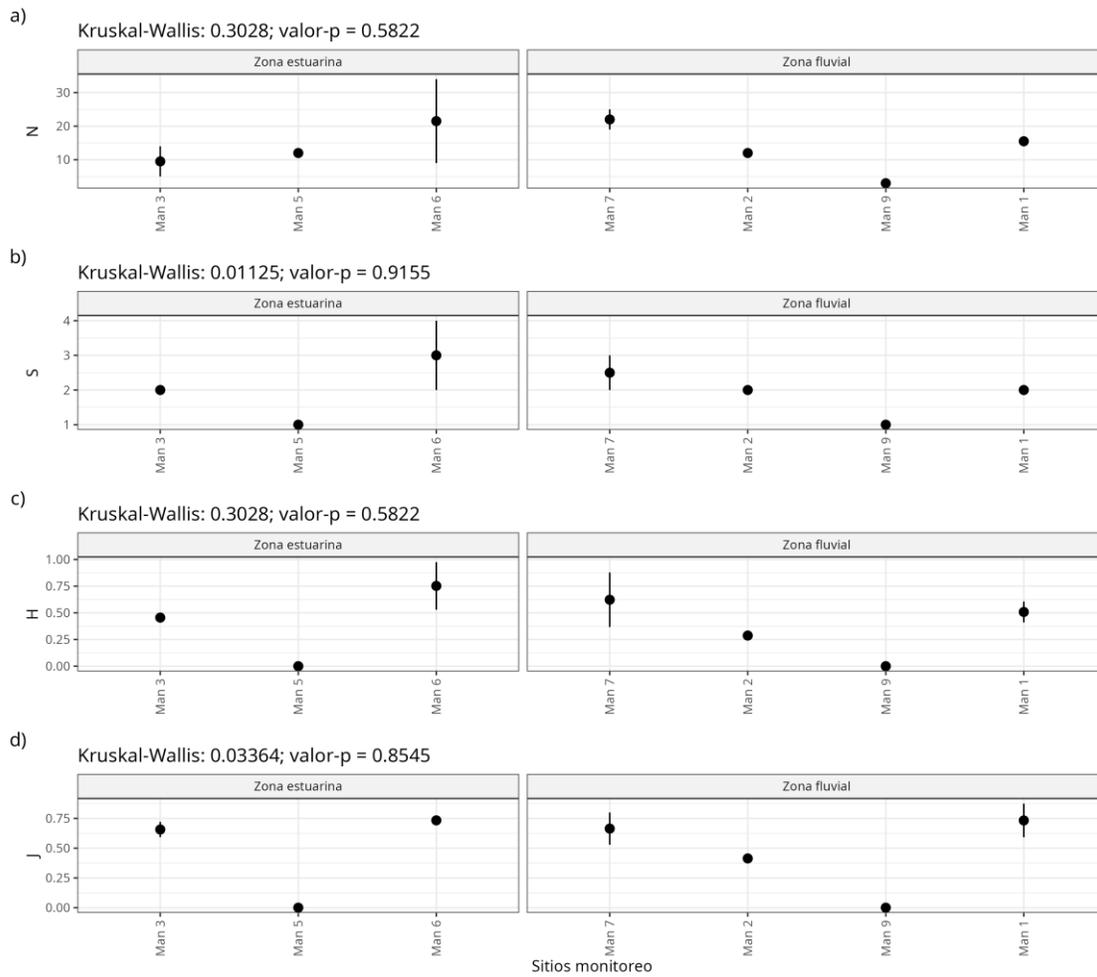


**Figura 59.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J'). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

El análisis de los índices de biodiversidad para la ictiofauna reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas en todos los indicadores Abundancia (N), Riqueza de taxones (S), Diversidad de Shannon (H), y Uniformidad de Pielou (J), entre las distintas zonas ecológicas, según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ; **Figura 60**).

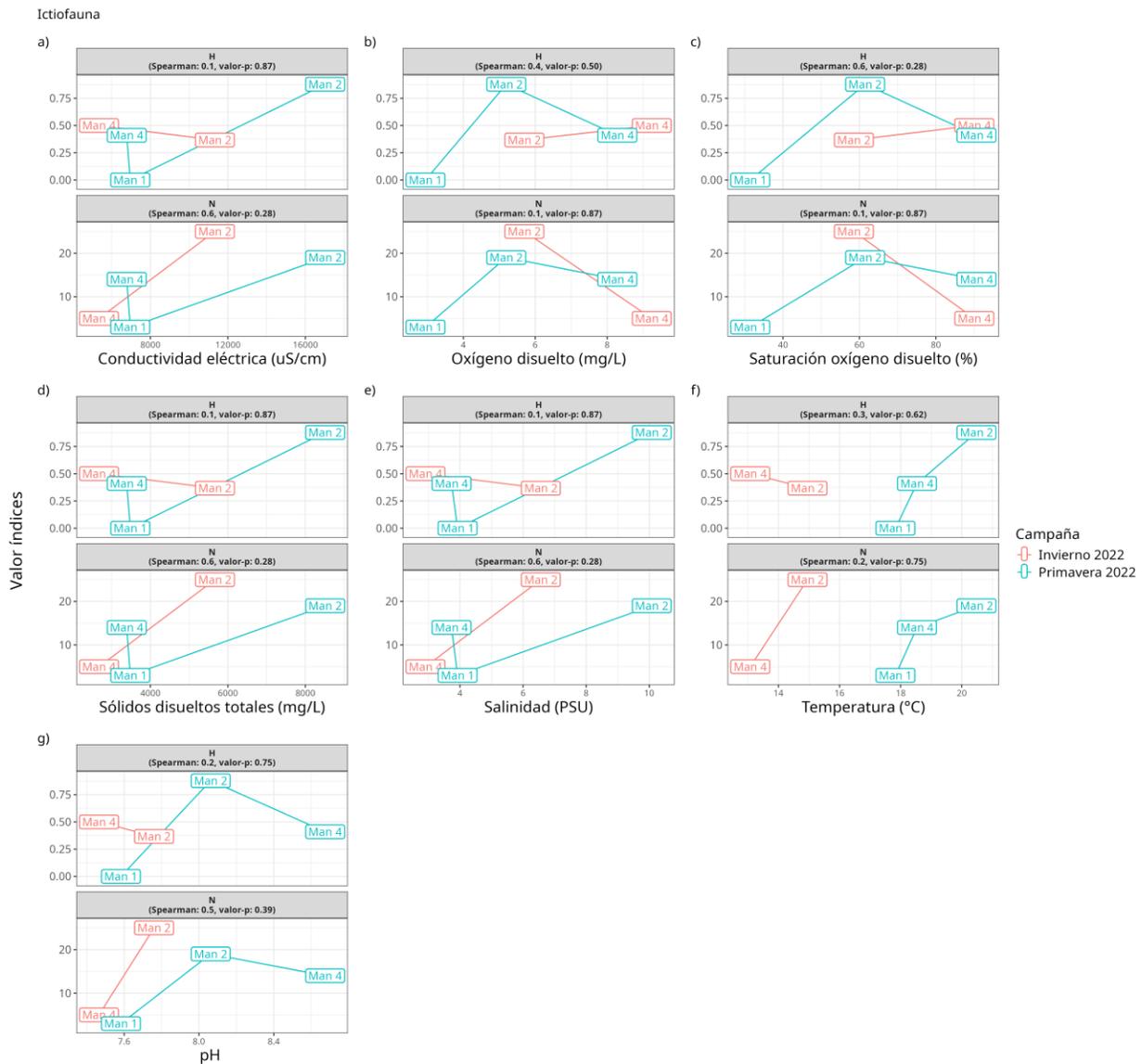
De forma similar al análisis de la zona de la cuenca, los índices comunitarios para las zonas ecológicas (**Figura 60**) mostraron una tendencia similar entre sí, con los niveles más altos distribuidos entre la zona estuarina y fluvial. En todos los casos, se destacaron los valores registrados en los sitios Man\_6 (zona estuarina) y Man\_7 (zona fluvial). Por el contrario, los niveles más bajos de los índices se observaron en los sitios Man\_5 (zona estuarina) y Man\_9 (zona fluvial).

Factor: Hábitat



**Figura 60.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

En cuanto a la relación entre los parámetros fisicoquímicos y la diversidad de la ictiofauna de este humedal, los resultados indican que no existe una correlación significativa entre ninguno de los parámetros fisicoquímicos medidos y la diversidad ni la abundancia de este grupo (**Figura 61**). Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con cautela debido a la escasez de datos y a las diferencias entre las estaciones de los distintos tipos de muestreo.

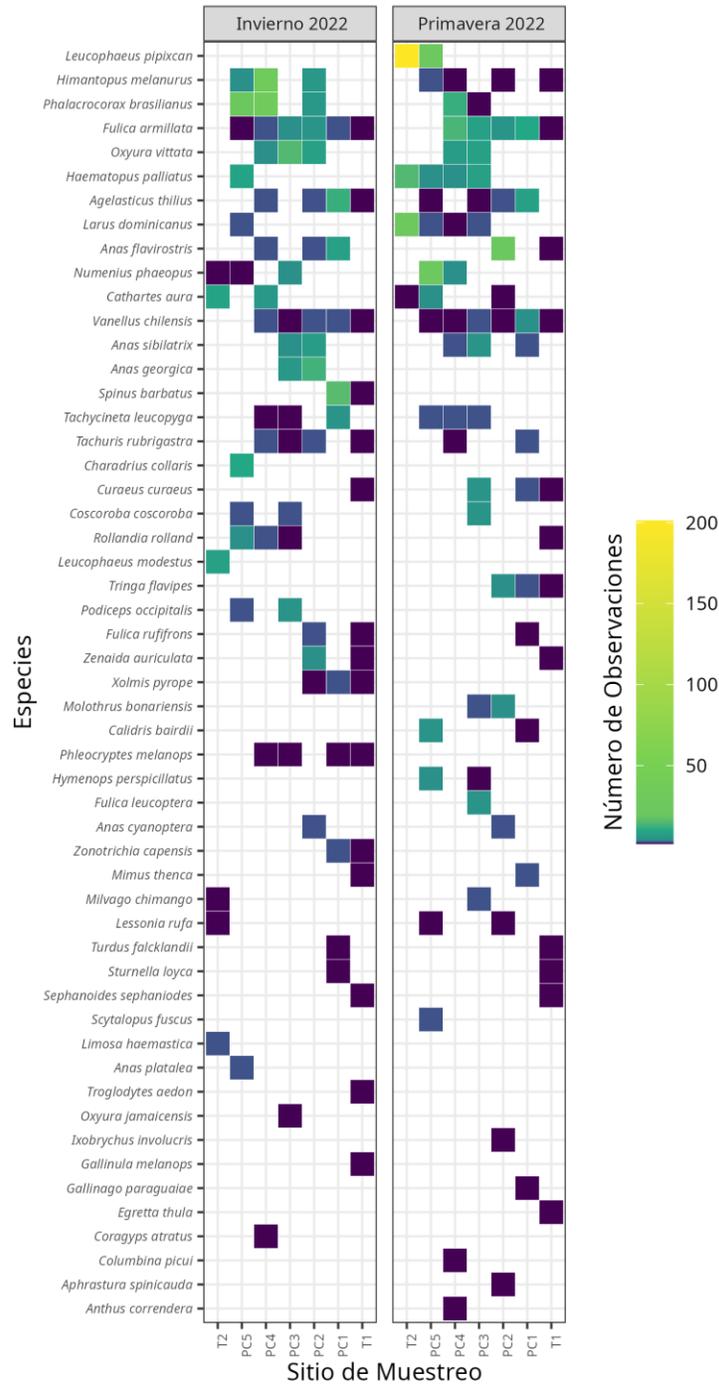


**Figura 61.** Relación entre la diversidad (H) y la abundancia (N) de la ictiofauna y los parámetros fisicoquímicos medidos: a) Conductividad eléctrica, b) Oxígeno disuelto, c) Saturación de oxígeno, d) Sólidos disueltos totales, e) Salinidad, f) Temperatura, y g) pH. Los colores de las líneas y etiquetas denotan las campañas de monitoreo. Los valores de  $p < 0,05$  se consideran estadísticamente significativos. Elaboración propia.

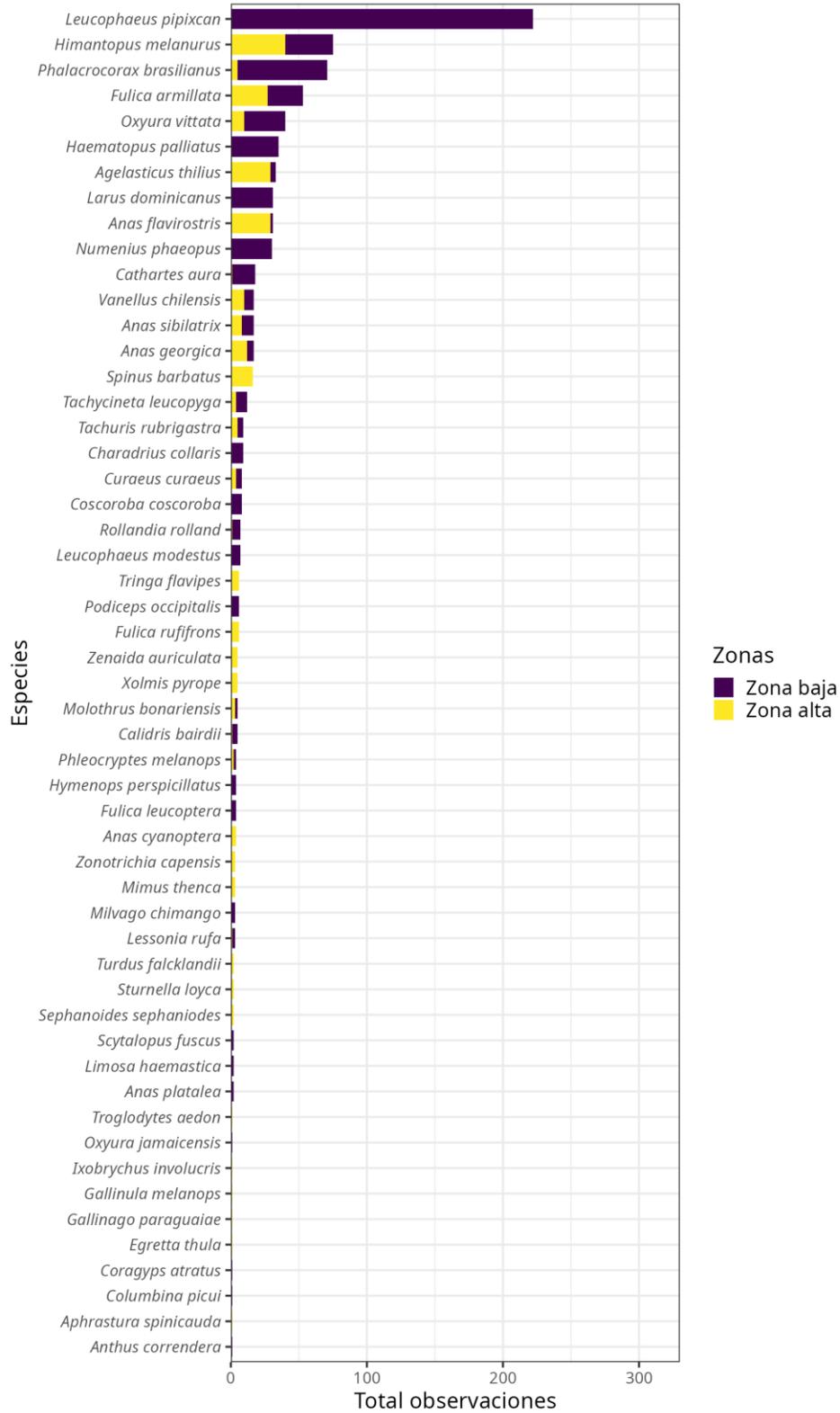
#### 4.5.2.3 Avifauna

A lo largo de las dos campañas de monitoreo (invierno y primavera del 2022) se identificaron individuos pertenecientes a 53 especies, de las cuales *Leucophaeus pipixcan* fue la especie con mayor abundancia (222 individuos avistados), seguida por *Himantopus melanurus* (75 individuos avistados) y *Phalacrocorax brasilianus* (71 individuos avistados). Desde una perspectiva temporal, ambas campañas de monitoreo presentaron valores comparables en términos de abundancia (**Figura 62**), salvo en la primavera de 2022, donde se registraron un total de 222 individuos de *Leucophaeus pipixcan*.

En cuanto a la distribución espacial, la zona baja, que incluye los sitios PC3, PC4, PC5, y T2, fue la zona con el mayor número de individuos para la mayoría de las especies registradas (**Figura 63**), salvo para algunas especies, que fueron registradas solo en la zona alta (e.g. *Spinus barbatus*), la cual incluye los sitios T1, PC1 y PC2.

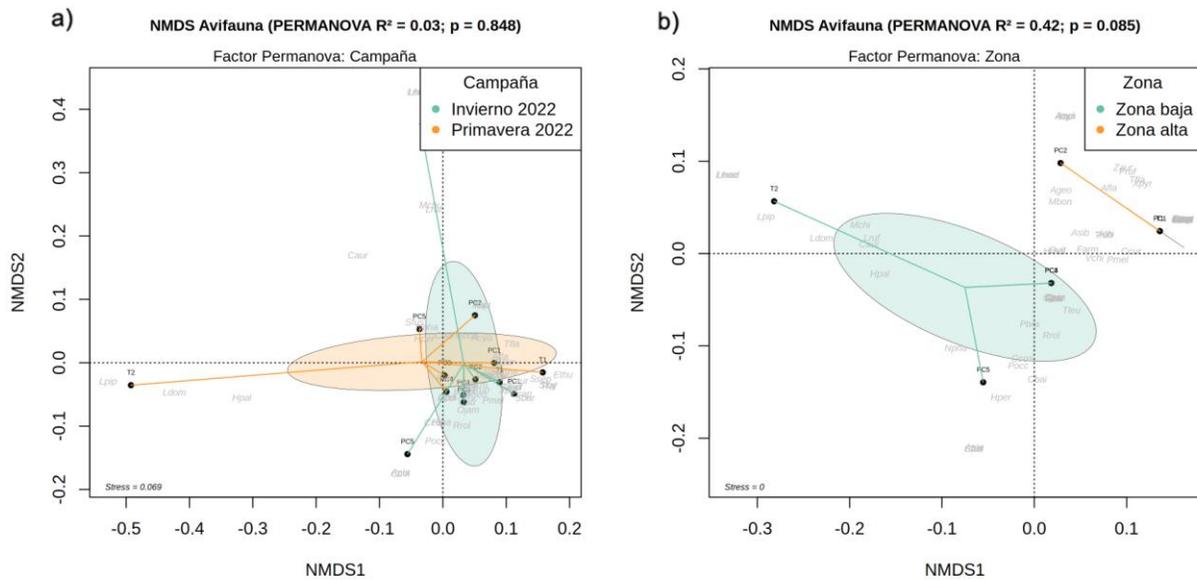


**Figura 62.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia.



**Figura 63.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de aves por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

Los resultados de los análisis diseñados para detectar patrones en la estructura comunitaria a través de dimensiones temporales y espaciales indican que no hay evidencia suficiente para sustentar una estructuración comunitaria a nivel temporal (campañas; valor-p = 0,848; **Figura 64a**). A nivel espacial, se observa una diferenciación entre las zonas alta y baja; sin embargo, esta diferenciación no es estadísticamente significativa (**Figura 64b**; valor-p = 0,085), lo cual podría deberse al desequilibrio en el número de puntos (sitios de monitoreo) entre las zonas de la cuenca. No se realizó un análisis por zonas (playa, estuario y zona fluvial) debido a que playa y zona fluvial estuvieron representadas solo por un único punto, lo que imposibilita cualquier comparación estadística rigurosa.

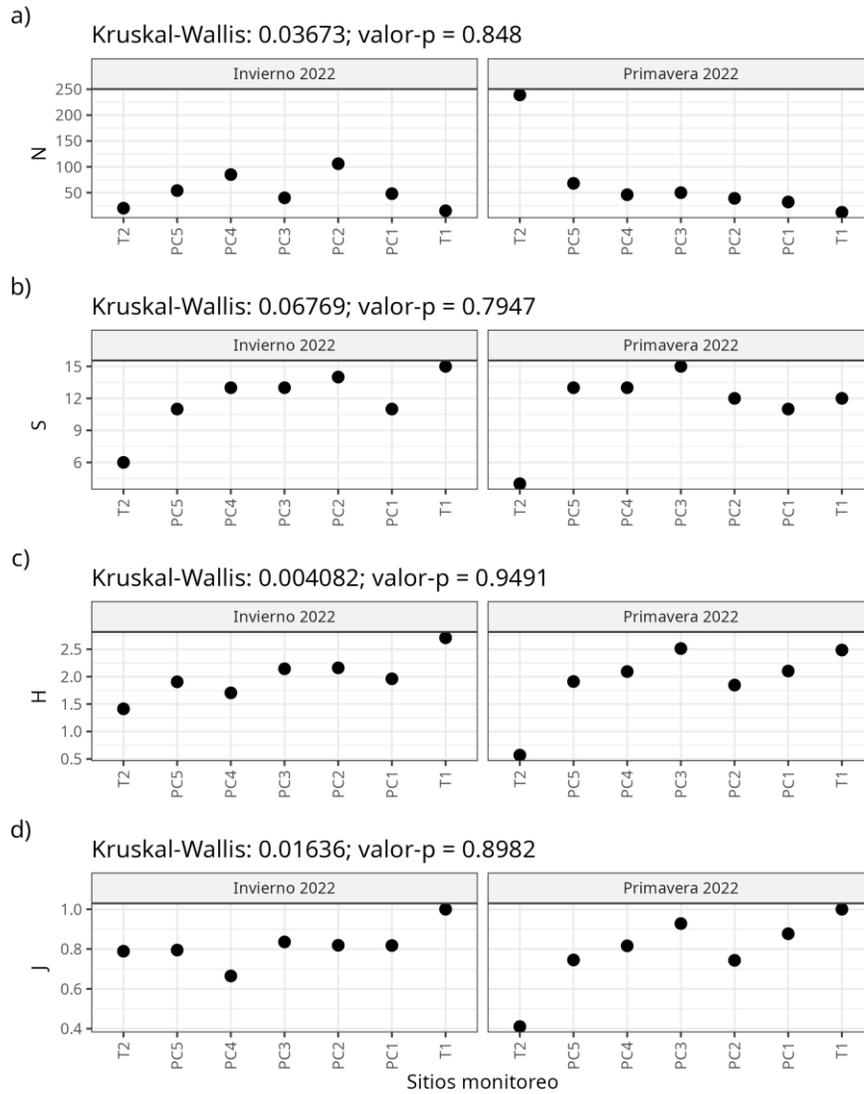


**Figura 64.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Campaña y b) por Cuenca. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

La comparación de los índices comunitarios por campaña muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas (**Figura 65**). Los niveles de abundancia son similares, excepto en la estación T2 durante la primavera de 2022, donde se registró una abundancia elevada comparada con el resto, con valores alrededor de 250 individuos (**Figura 65a**). En cuanto a la riqueza de especies (**Figura 65b**), se observa un incremento marcado desde la estación costera T2 hacia las demás estaciones, que mantienen niveles similares. La diversidad sigue un patrón consistente entre campañas, aumentando de T2 a PC3, para luego disminuir en PC2 y elevarse nuevamente (**Figura 65c**). Finalmente, la uniformidad (**Figura 65d**) muestra un comportamiento diferente entre campañas, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Durante la campaña de invierno, los valores de uniformidad fueron relativamente estables en torno a 0,8, mientras que en primavera se observó un incremento generalizado entre T2 y T1.

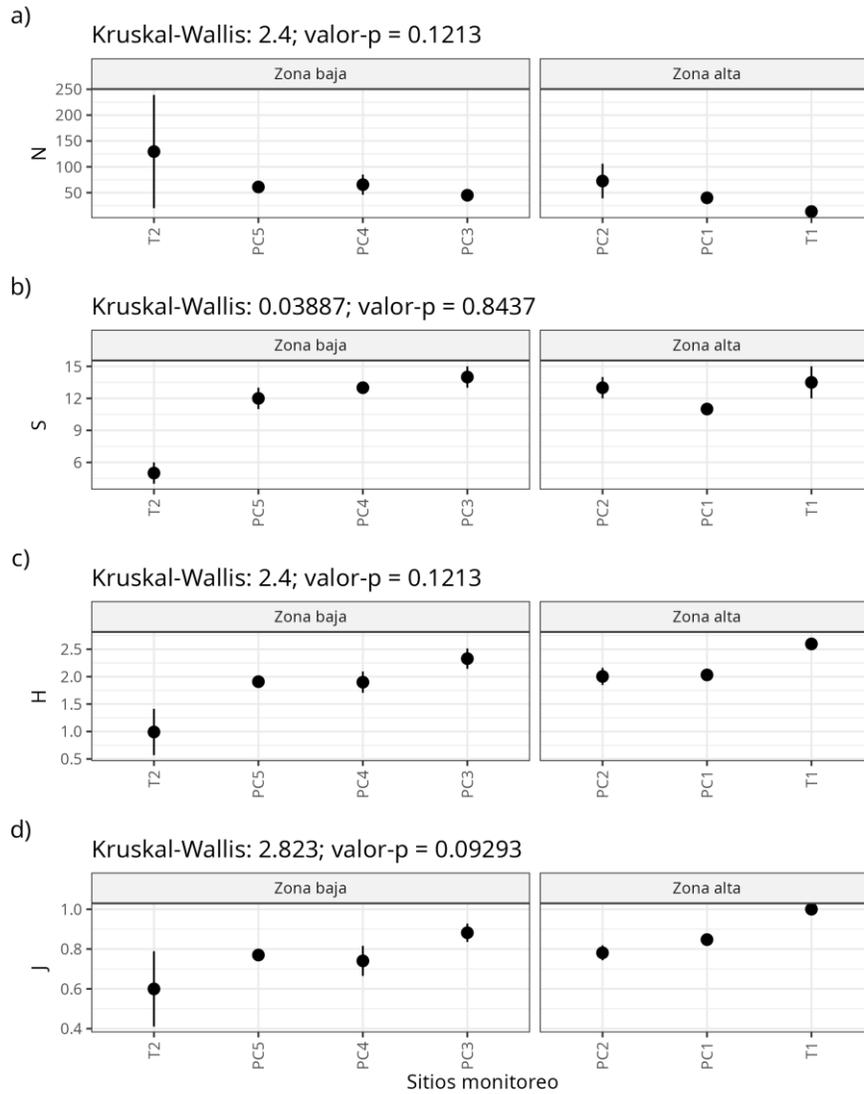
La comparación de los índices comunitarios por zonas de monitoreo muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas (**Figuras 66a y 66d**). La abundancia es mayor en la zona baja (**Figura 66a**), dado principalmente por el nivel registrado en el sitio T2, mientras que la riqueza de especies es, en promedio, similar en ambas zonas, con valores cercanos a 12 especies, excepto en la estación T2, que presenta la riqueza más baja del sistema (**Figura 66b**). De manera similar, la diversidad es comparable entre zonas del humedal, salvo por los bajos valores registrados en T2 (**Figura 66c**). Por último, la uniformidad es generalmente menor en la parte baja, particularmente en la estación T2 (**Figura 66d**).

Factor: Campaña



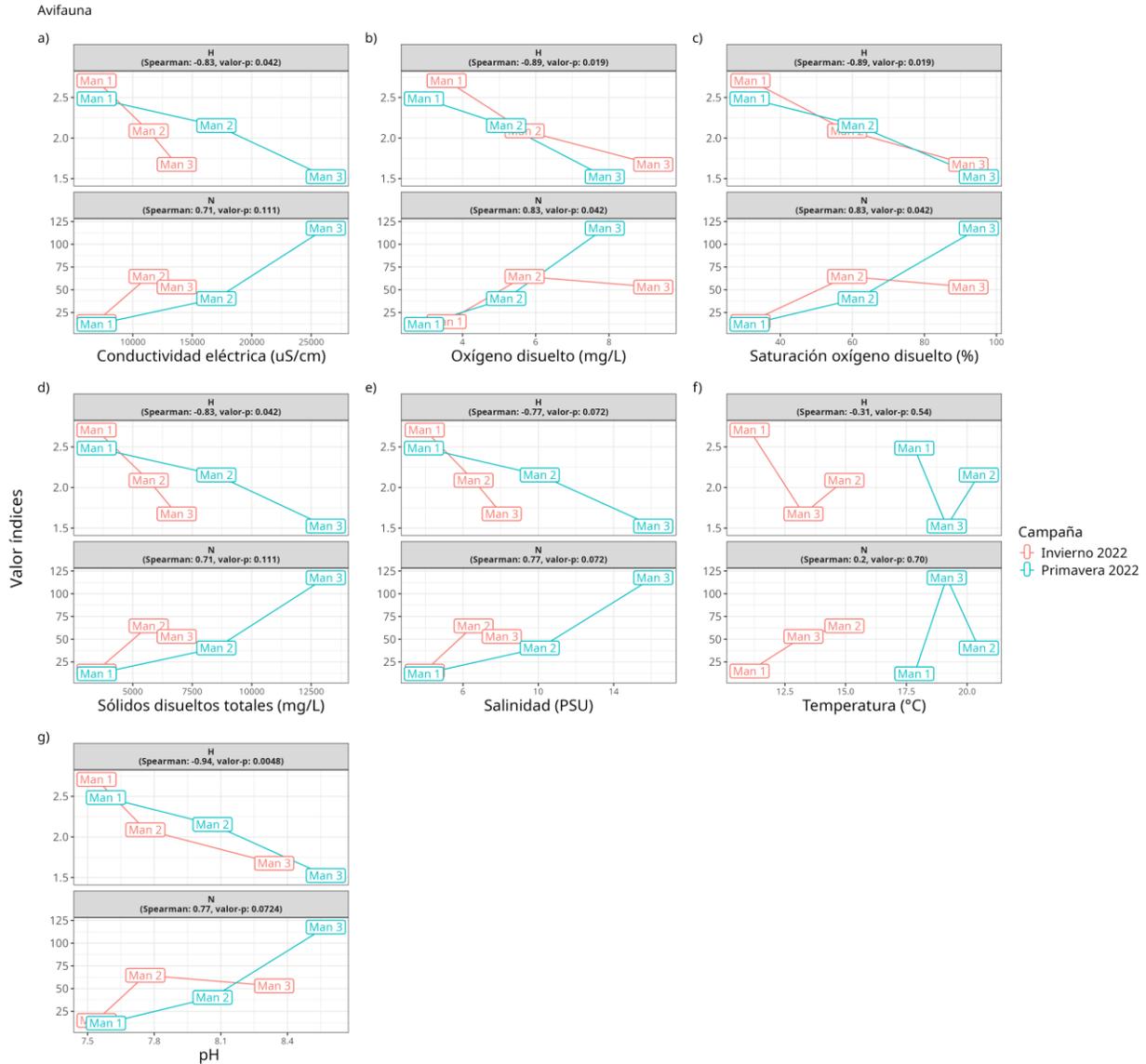
**Figura 65.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Factor: Zona



**Figura 66.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Los análisis de correlación entre la diversidad de la avifauna y los parámetros fisicoquímicos medidos indican que la diversidad de especies (H; panel superior de cada gráfico) está negativamente y significativamente correlacionada con la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, la saturación de oxígeno disuelto, los sólidos suspendidos totales, la salinidad y el pH (Figura 67a-e y 67g). A su vez, la abundancia de individuos (N; panel inferior de cada gráfico) muestra una correlación positiva (coeficientes de correlación de Spearman positivos) estadísticamente significativa con el oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno (Figura 67b y 67c). Parámetros como la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales, la salinidad y el pH también muestran correlaciones positivas, aunque estas no son estadísticamente significativas. En cuanto a la temperatura, se observa una correlación positiva incipiente con la abundancia, pero esta no es significativa y se manifestó únicamente durante la campaña de invierno (Figura 67f). Como se mencionó anteriormente, estos resultados deben interpretarse con cautela debido a la escasez de datos y a las diferencias entre las estaciones de los distintos tipos de muestreo.

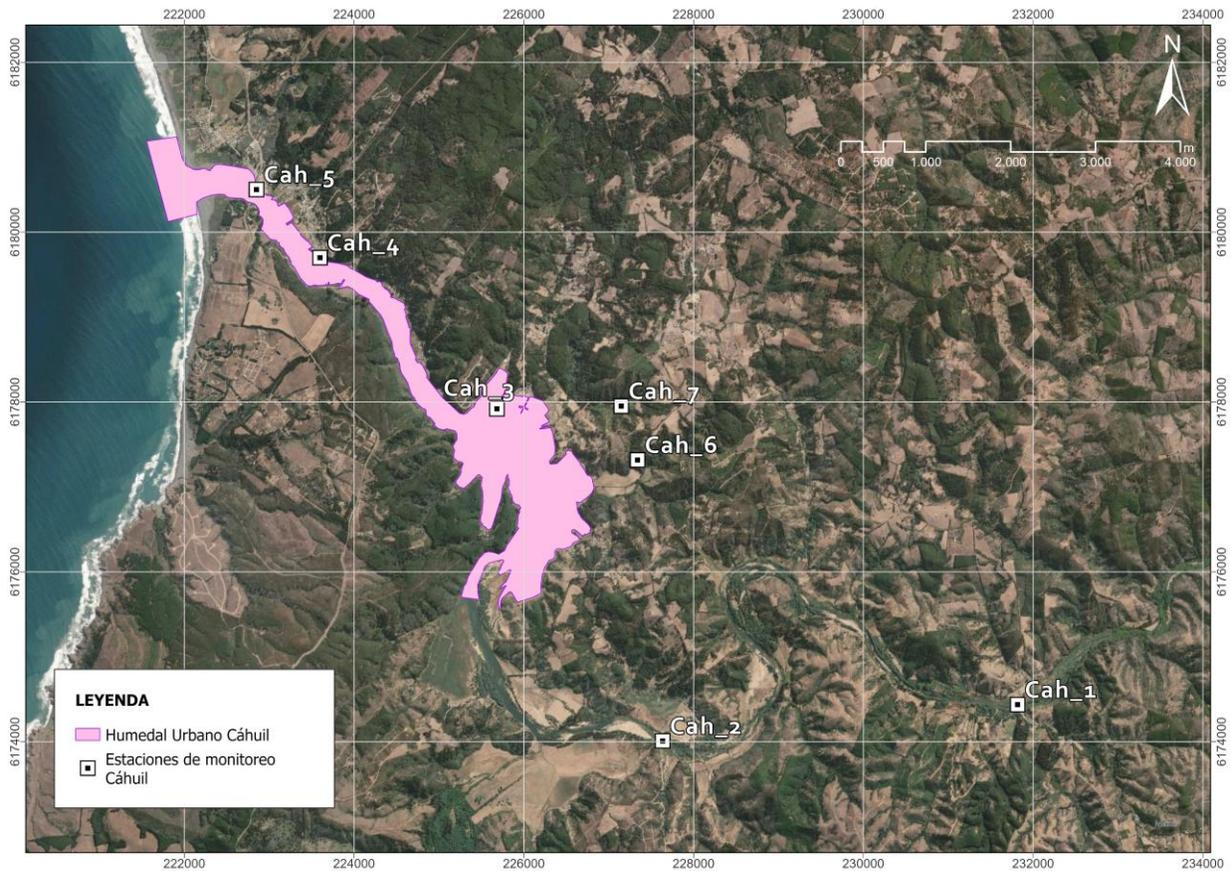


**Figura 67.** Relación entre la diversidad (H) y la abundancia (N) de la avifauna y los parámetros fisicoquímicos medidos: a) Conductividad eléctrica, b) Oxígeno disuelto, c) Saturación de oxígeno, d) Sólidos disueltos totales, e) Salinidad, f) Temperatura, y g) pH. Los colores de las líneas y etiquetas denotan las campañas de monitoreo. Los valores de  $p < 0,05$  se consideran estadísticamente significativos. Elaboración propia.

#### 4.6 Humedal Cáhuil

El programa de monitoreo de Calidad de Agua y Biota del Humedal de Cáhuil (**Figura 68**) abarcó un total de siete estaciones distribuidas a lo largo de la zona monitoreada de la cuenca. Las estaciones Cah\_1 y Cah\_2 se situaron en la parte alta de la cuenca, mientras que Cah\_3, Cah\_6 y Cah\_7 se ubicaron en la parte media. Por otro lado, las estaciones Cah\_4 y Cah\_5 se localizaron en la parte baja, caracterizando la zona estuarina y la desembocadura del humedal.

Adicionalmente, el Humedal Cáhuil presenta un sistema de Monitoreo Continuo el cual presenta el monitoreo de variables oxígeno disuelto, temperatura a diferentes profundidades, nivel del agua y salinidad. El análisis de esta data se encuentra en el **Anexo Digital 05**.



**Figura 68.** Estaciones de monitoreo ambiental del Humedal de Mantagua. Polígono extraído del Expediente de Humedal Urbano N° OF-06-1044. Coordenadas en UTM. Datum WGS84, Huso 19H. Elaboración propia.

#### 4.6.1 Calidad de agua parámetros *in situ*

##### 4.6.1.1 Estadística descriptiva

El análisis de la estadística descriptiva para los parámetros medidos en el Humedal Cáhuil revela que ninguno de los parámetros presenta un coeficiente de variación igual a cero (**Tabla 12**). Entre los siete parámetros físico-químicos cuantificados, solo tres muestran coeficientes de variación superiores al 100%: conductividad (CE) con un 109%, sólidos suspendidos totales (SST) con un 111%, y la salinidad (Sal) con un 117%. Estos resultados indican una alta dispersión de los valores de estos parámetros en relación con su media, reflejando una variabilidad significativa en las mediciones. Por su parte, el test de Shapiro-Wilk para el parámetro temperatura (T) arrojó un valor de 0,987 con un valor-p de 0,149 (**Tabla 12**), lo que indica que los datos presentan una distribución normal.

**Tabla 12.** Estadística descriptiva para parámetros físico-químicos medidos en columna de agua. Nobs: número de observaciones, min =mínimo, max =máximo, prom =promedio, desvest =desviación estándar, cv% =coeficiente de variación, shapiro-wilk = estadístico W de la prueba Shapiro-Wilk, valor-p = valor-p de la prueba Shapiro-Wilk. CE: Conductividad Eléctica; OD: Oxígeno disuelto; OD Sat: Saturación oxígeno disuelto; SDT: Sólidos Disueltos Totales; Sal: Salinidad; T: Temperatura. Elaboración propia.

Sigla	Nobs	min	max	prom	desvest	<sup>1</sup> cv%	shapiro-wilk	<sup>2</sup> valor-p
CE	153	194.4	94190	16927.68	18477.65	<b>109%</b>	0,832	0,000
OD	152	3.68	15.59	8.64	2.15	25%	0,983	0,059
OD Sat	152	37.3	180,8	96.02	25.07	26%	0,960	0,000
pH	153	6.81	9.84	8.29	0,76	9%	0,967	0,001
SST	153	16.61	47090	8355.3	9238.32	<b>111%</b>	0,827	0,000
Sal	152	0,09	67.24	10,57	12.4	<b>117%</b>	0,798	0,000
T	153	7.74	29.03	16.9	4.27	25%	0,987	<b>0,149</b>

<sup>1</sup> Se destacan en negrita los valores de coeficientes de variación mayores o iguales al 100%.

<sup>2</sup> Se destacan en negrita los valores de  $p$  del test Shapiro-Wilk mayores o iguales a 0,05.

#### 4.6.1.2 Análisis por sitio de monitoreo

La conductividad eléctrica (**Figura 69**) muestra una tendencia heterogénea entre las campañas de monitoreo, destacándose los altos niveles registrados en la campaña de julio de 2022 en los sitios Cah\_5 y Cah\_4, ubicados en la parte baja de la zona estudiada. En términos espaciales, los valores más elevados de conductividad se concentran en esta zona.

El oxígeno disuelto (**Figura 70**), presentó niveles altos a lo largo de las campañas de monitoreo, siendo particularmente altas en Cah\_5 (campaña abril y junio 2022) y Cah\_3 (campaña junio 2023), con registro cercanos a 15mg/l. La saturación de oxígeno (**Figura 71**) presentó algunas variaciones temporales, donde para el año 2022 los mayores niveles se registraron el sitio Cah\_5 (campaña abril y junio) Cah\_4 (campaña diciembre), mientras que para el año 2023, Cah\_5 presentó los mayores niveles en las campañas de noviembre y diciembre.

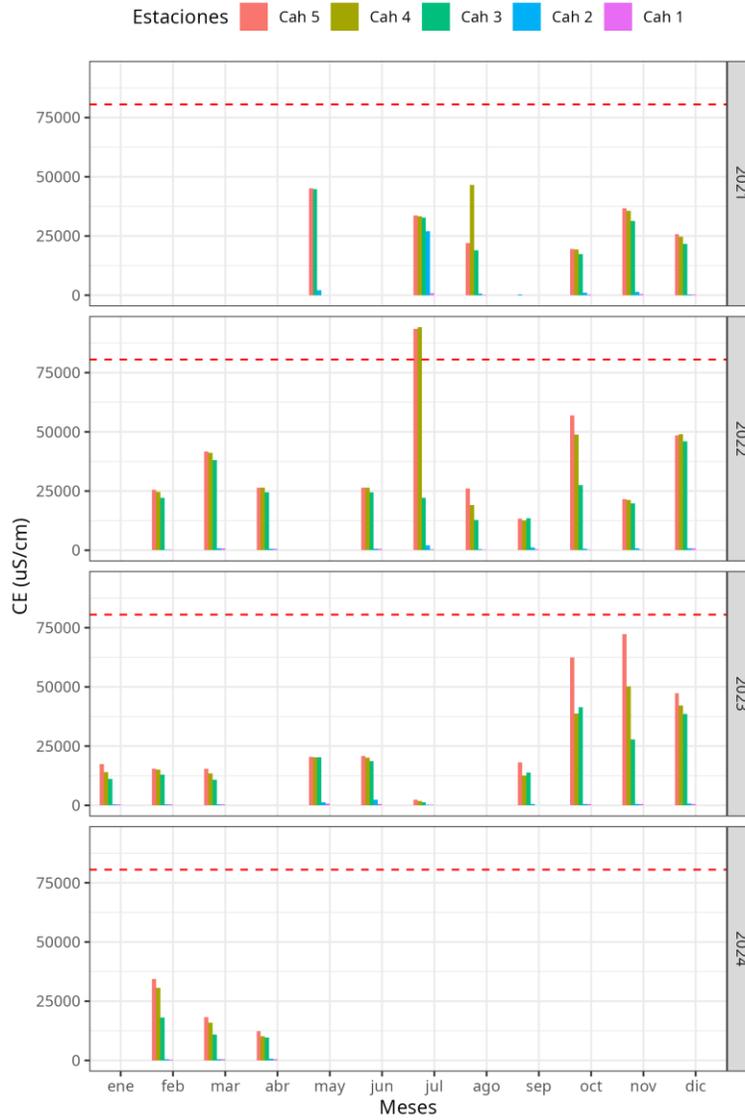
El pH (**Figura72**) se mantuvo estable entre los distintos sitios y campañas de monitoreo, presentando una variación entre 6,81 y 9,84.

La salinidad (**Figura 73**) mostró variaciones tanto temporales como espaciales, presentando valores máximos en la campaña de julio de 2022 en el sitio Cah\_5 y Cah\_4 (parte baja de la cuenca), con registros superiores a 66 PSU, lo cual excede el límite que indica la detección de valores atípicos (línea punteada roja).

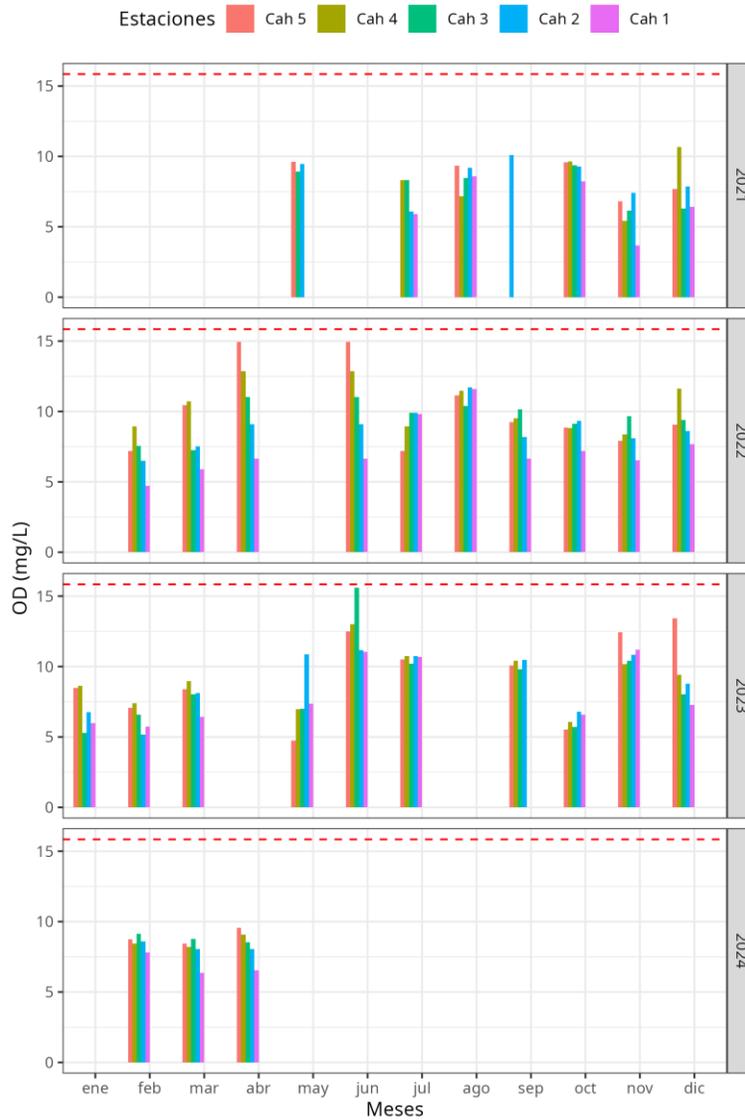
Se destaca que la identificación de valores atípicos se llevó a cabo mediante el método del percentil, el cual establece un rango esperado basado en el rango intercuartílico (IQR). Los valores que se sitúan fuera de este rango delimitado son considerados atípicos, y pueden estar asociados con incertidumbres originadas por los métodos de monitoreo.

Los sólidos suspendidos totales (**Figura 74**) presentaron una tendencia similar a la salinidad, presentado sus mayores niveles en los sitios Cah\_5 y Cah\_4 durante la campaña julio de 2022.

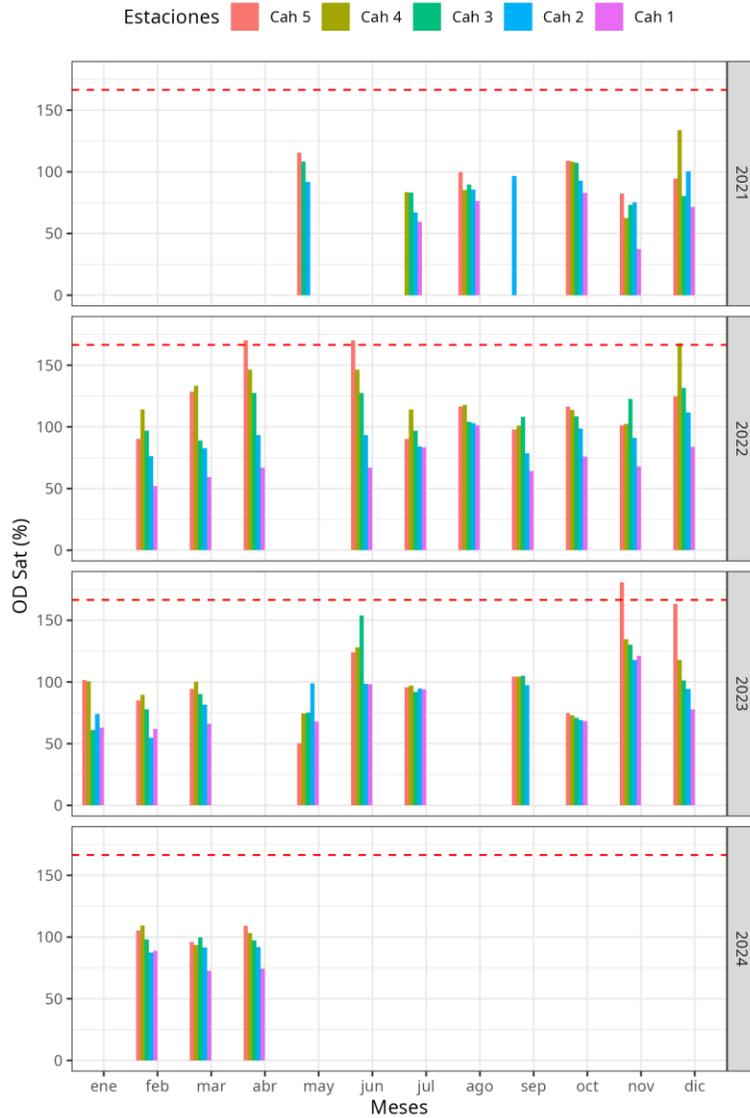
Finalmente, la temperatura (**Figura 75**) mostró una variabilidad a lo largo de las campañas de monitoreo, donde los mayores niveles se presentan en el sitio Cah\_2 para la campaña de diciembre de 2021 y 2022.



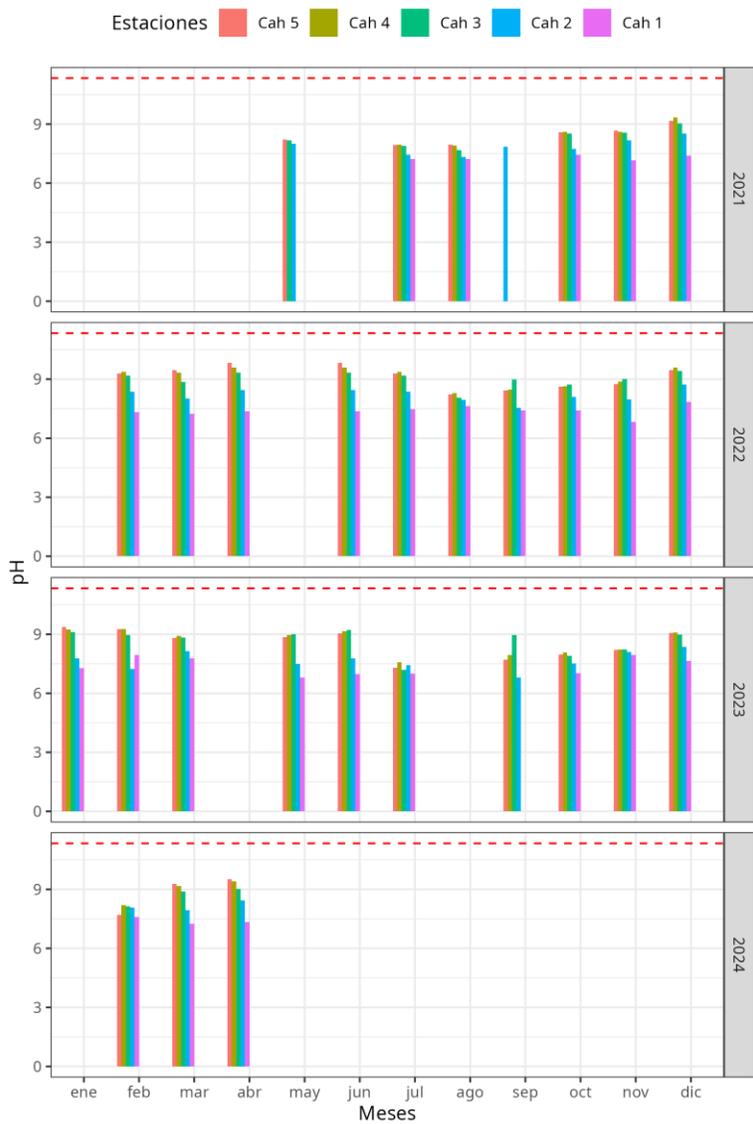
**Figura 69.** Conductividad Eléctrica (CE) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



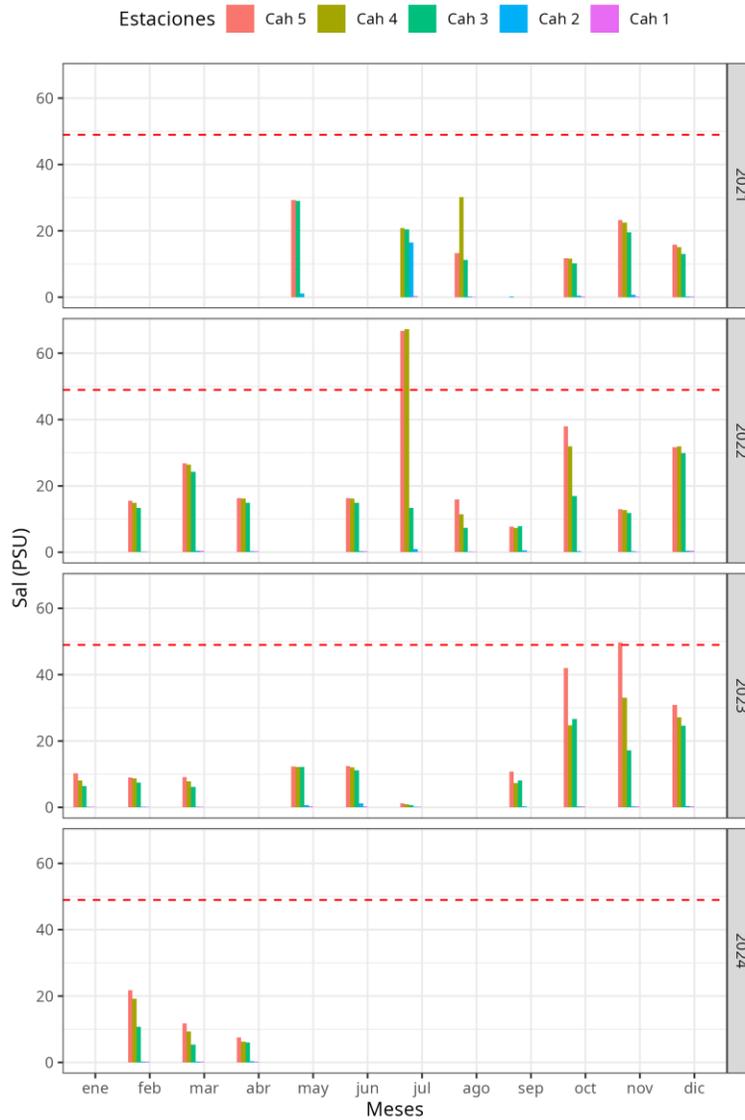
**Figura 70.** Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



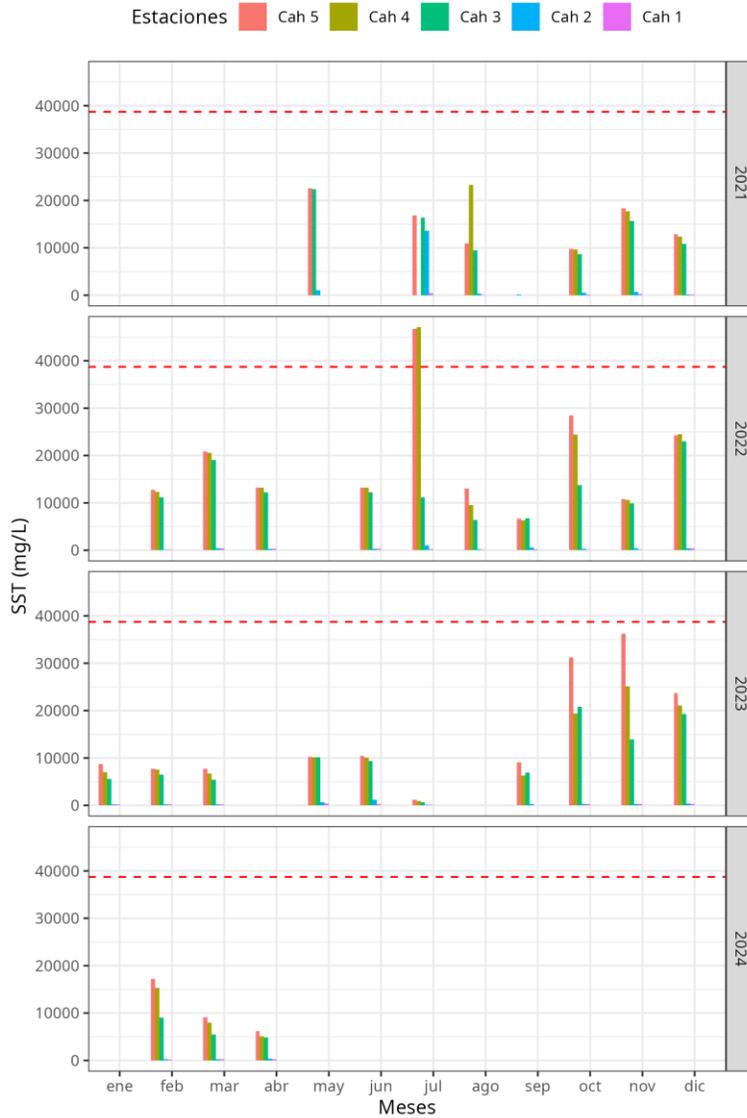
**Figura 71.** Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD Sat) cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



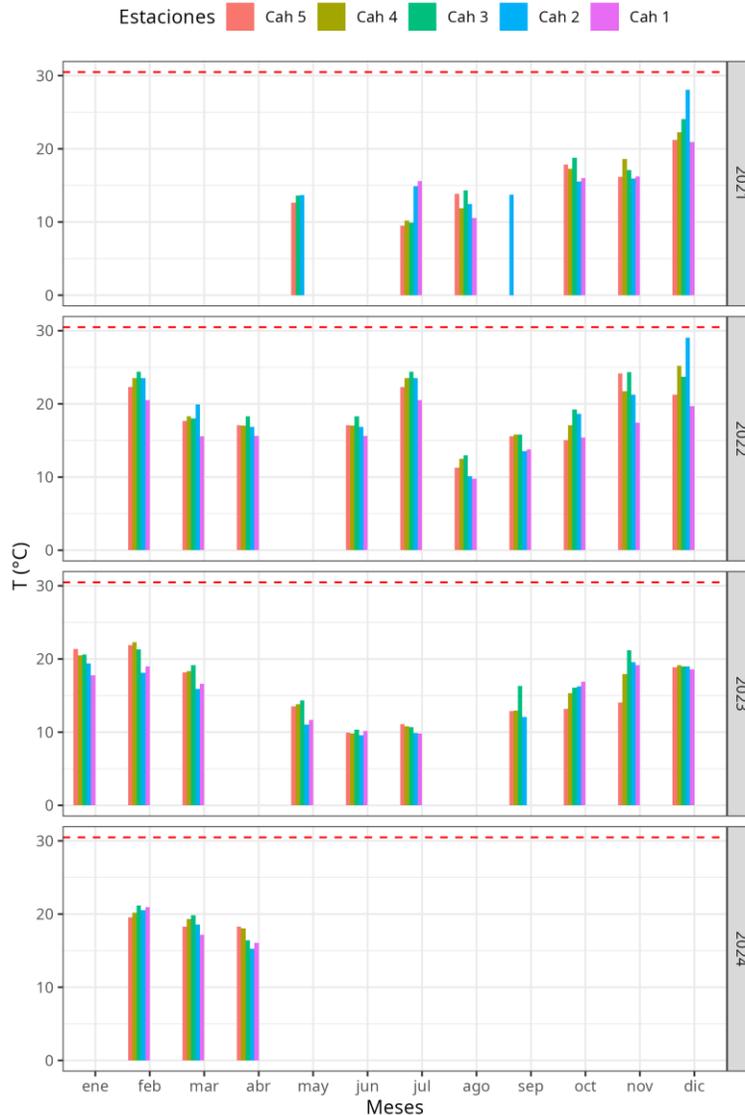
**Figura 72.** Valor de pH cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



**Figura 73.** Salinidad (Sal) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.

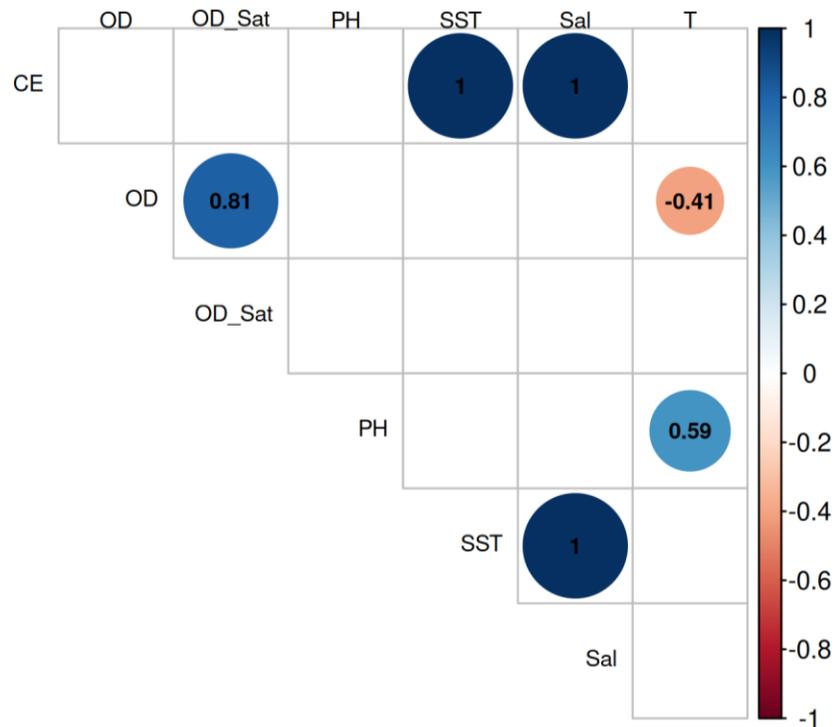


**Figura 74.** Concentración de Sólidos Suspendedos Totales (SST) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



**Figura 75.** Temperatura (T) medida en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.

El análisis de correlaciones múltiples pareadas (**Figura 76**) revela que existen cinco pares de parámetros físico-químicos que presentan correlaciones estadísticamente significativas positivas (círculos azules): sólidos suspendidos totales – conductividad (1,0); salinidad – conductividad (1,0), oxígeno disuelto – saturación de oxígeno (0,81); temperatura – pH (0,59); salinidad y sólidos suspendidos totales (1,0). Además, se presentó un par de parámetros correlaciones estadísticamente significativas negativas (círculos rojos): temperatura – oxígeno disuelto (-0,41).



**Figura 76.** Correlograma para los parámetros medidos en la columna de agua que mostraron coeficientes de variación mayores a 0%. Se muestran solo las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. La escala de colores indica el sentido y nivel de correlación (coeficiente de correlación de Spearman dentro de cada círculo). Valores de correlación positivos están representados por tonos azules, mientras valores negativos están reportado en tonos rojos. Elaboración propia.

#### 4.6.1.3 Análisis multivariado

La **Figura 77** muestra el análisis de componentes principales (PCA) aplicado a los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua para identificar patrones y tendencias, donde las elipses representan un intervalo de confianza del 95% para los puntajes agrupados por: a) Año, b) Estación climática, c) Cuenca, y d) Zona hábitat.

La **Figura 77a** muestra el análisis PCA, donde se utilizaron las campañas de monitoreo como variable explicativa de la variación entre parámetros ( $R^2 = 0,08$ ; valor-p = 0,214), y muestra que la primera componente principal (PC1) captura el 19% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) explica el 81%. La **Figura 77b** ilustra el PCA con las estaciones de monitoreo como factor explicativo ( $R^2 = 0,21$ ; valor-p = 0,001), y muestra que la primera componente principal (PC1) captura el 23% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) explica el 59%. En ambos gráficos, no se observa una tendencia marcada entre los años o estaciones de monitoreo respecto a la concentración de parámetros. En contraste, la **Figura 77c**, que emplea las zonas de la cuenca como factor ( $R^2 = 0,5$ ; valor-p = 0,001), muestra que la primera componente principal (PC1) captura el 21% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) explica el 68%, y revela una diferenciación marcada en la concentración de parámetros (elipses solapadas). En este caso, la zona baja y media de la cuenca se caracterizan por presentar mayores niveles de sólidos suspendidos totales, pH, saturación de oxígeno y oxígeno disuelto, mientras que la zona alta de la cuenca se diferencia por presentar menores niveles de estos parámetros. Asimismo, la **Figura 77d**, que emplea los hábitats como factor ( $R^2 = 0,22$ ; valor-p = 0,001), muestra que la primera componente principal (PC1) captura el 23% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) explica el 59%, y revela diferencias entre la zona estuarina y la zona fluvial, donde la primera se diferencia por presentar mayores niveles de pH, saturación de oxígeno, y sólidos suspendidos totales.



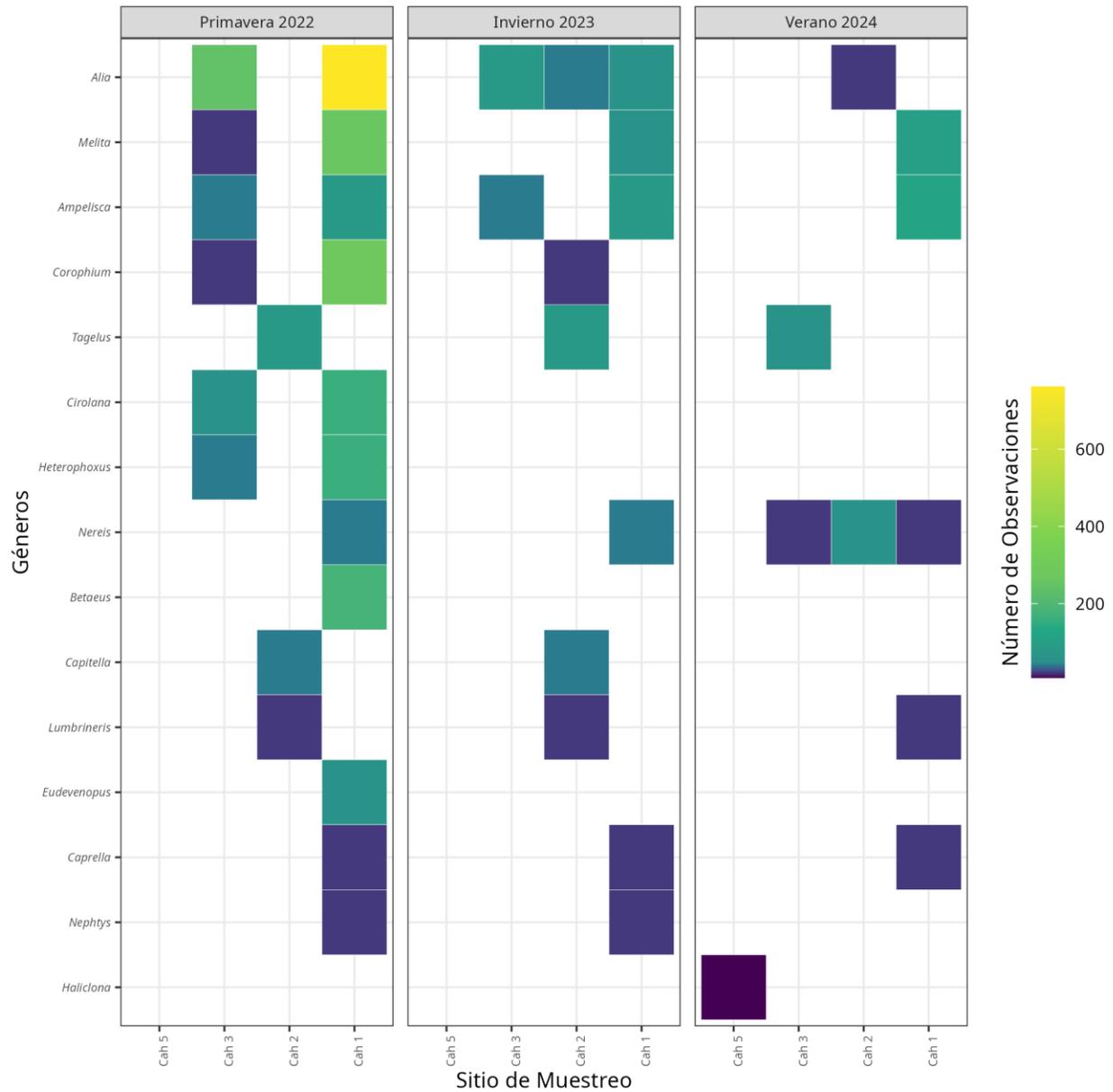
## 4.6.2 Biota

### 4.6.2.1 *Macroinvertebrados bentónicos*

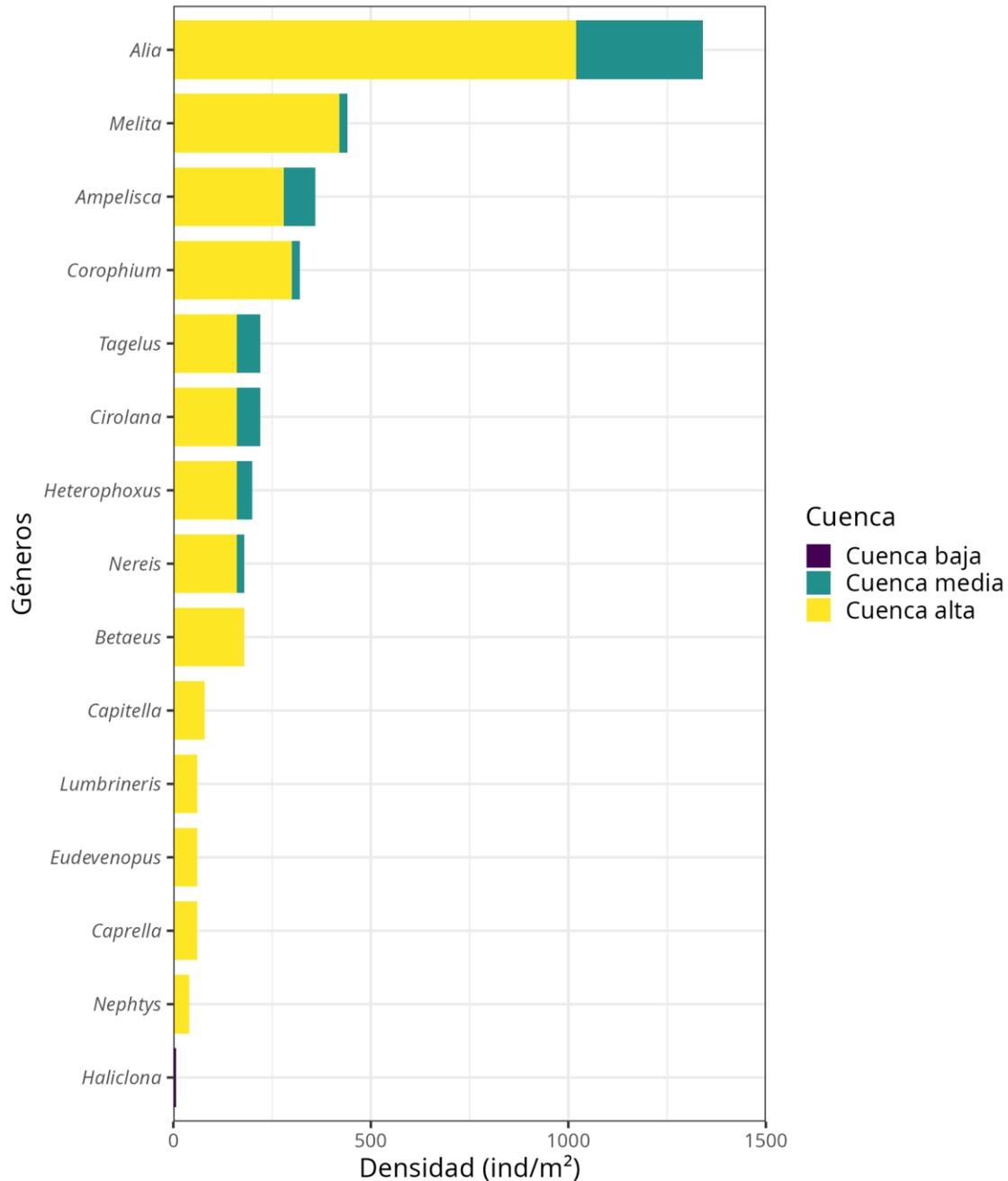
El análisis de la diversidad de la fauna de macroinvertebrados bentónicos presente en este humedal se realizó a nivel de géneros. El análisis reveló que, durante las tres campañas de monitoreo, se registraron individuos pertenecientes a 15 géneros. *Alia* fue el género con las mayores densidades promedio a lo largo de todas las campañas y estaciones, con 191,4 individuos/m<sup>2</sup>, seguido por *Ampelisca* (individuos/m<sup>2</sup>) y los géneros *Bataeus* y *Melita*, con 110 individuos/m<sup>2</sup> en promedio.

Desde una perspectiva temporal, la campaña de primavera de 2022 fue, con diferencia, la que registró las mayores densidades (**Figura 78**). En esta campaña, el género *Alia* alcanzó densidades de hasta 760 individuos/m<sup>2</sup> en la estación de monitoreo Cah\_1, que, además, fue la estación que en general mostró las mayores densidades independientemente de la campaña. Adicionalmente, durante esta campaña se registraron individuos de géneros que no aparecieron en campañas posteriores, como *Cirolana* y *Heterophoxus*.

Desde una perspectiva espacial, las densidades totales más altas por género se registraron, con diferencia, en la cuenca alta, específicamente en las estaciones Cah\_2 y Cah\_1 (**Figura 79**), seguidas por las de la zona media. Cabe destacar que solo se recuperaron individuos del género *Haliclona* en la zona baja.



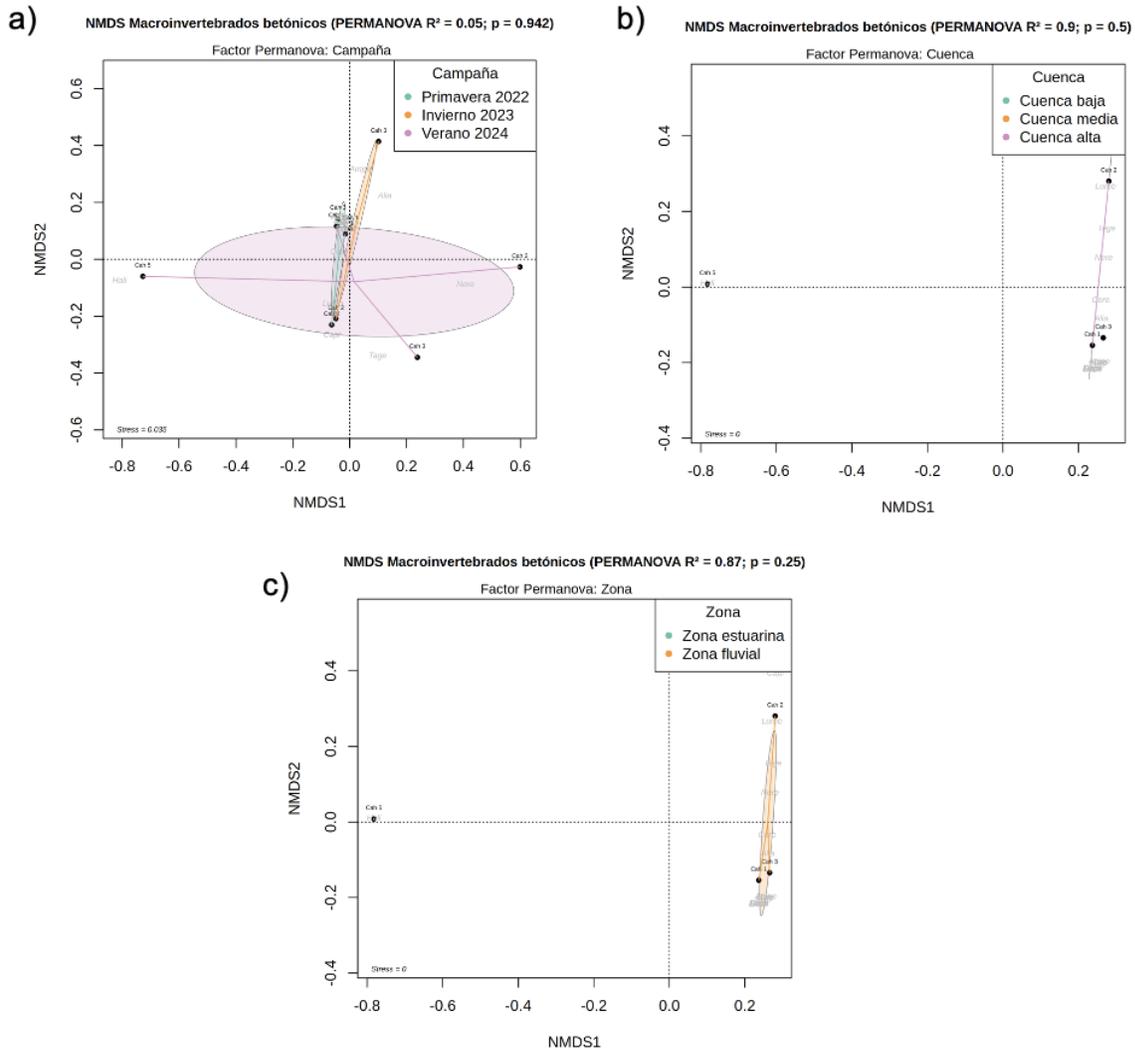
**Figura 78.** Densidad de individuos reconocidos al nivel de género de macroinvertebrados bentónicos por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia.



**Figura 79.** Densidad de individuos reconocidos al nivel de género de macroinvertebrados bentónicos por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

El análisis de la estructura comunitaria no revela una composición de géneros diferencial en ninguna de las dimensiones temporales (campañas; **Figura 80a**) ni espaciales (cuenca y zonas; **Figura 80b** y **80c**). Sin embargo, en la dimensión espacial, tanto entre cuencas como entre zonas (estuarina y fluvial), se observa una tendencia hacia la diferenciación en la composición de

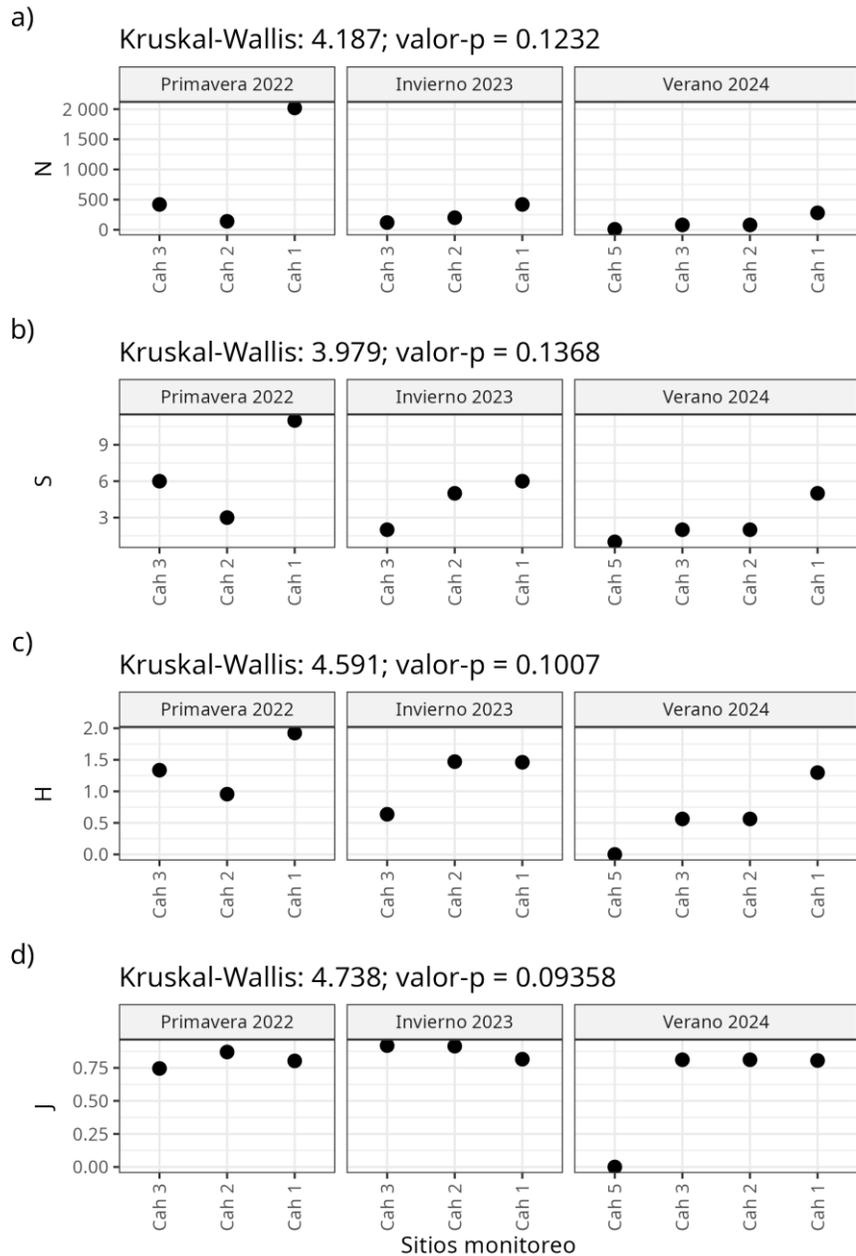
géneros, especialmente entre la cuenca baja o zona estuarina y el resto. No obstante, esta diferenciación no está respaldada estadísticamente (valores  $p = 0,5$  para cuencas y  $0,25$  para zonas), lo que probablemente se deba al número limitado de puntos representados en cada zona.



**Figura 80.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de los géneros. En a) puntajes agrupados por: a) Campaña, b) Cuenca, y en c) por Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

La comparación de los índices comunitarios a lo largo de las campañas de monitoreo no reveló diferencias estadísticas significativas en ninguno de los índices calculados (**Figura 81**). En términos de abundancia de individuos (**Figura 81a**), utilizando la densidad como *proxy*, se observaron valores generalmente bajos, inferiores a 500 individuos/m<sup>2</sup> en la mayoría de las estaciones. Sin embargo, durante la campaña de primavera de 2022, se registró una excepción notable con una densidad superior a 2,000 individuos/m<sup>2</sup> en la estación Cah\_1. En cuanto a la riqueza de géneros (**Figura 81b**), las campañas de invierno de 2023 y verano de 2024 mostraron un incremento desde Cah\_5 hacia Cah\_1, siendo la primavera de 2022 la campaña con mayor riqueza de géneros, destacándose nuevamente la estación Cah\_1. Respecto a la diversidad de géneros (**Figura 81c**), las campañas de 2023 y 2024 presentaron un patrón similar, con un aumento desde las estaciones de la cuenca media hacia las de la cuenca alta. Finalmente, la uniformidad (**Figura 81d**) mostró valores moderados a altos en todas las campañas, excepto en el verano de 2024, donde se registró el valor más bajo de uniformidad en la estación Cah\_5.

Factor: Campaña

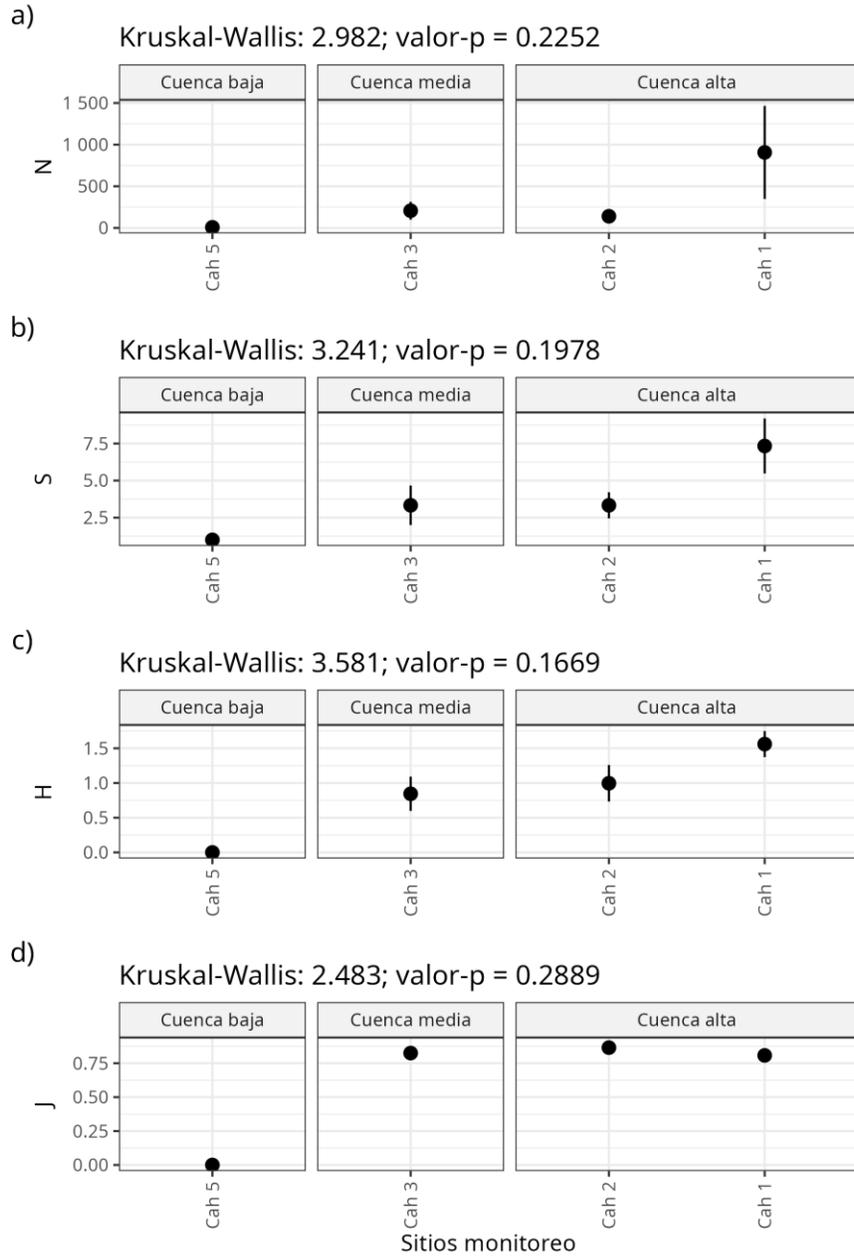


**Figura 81.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

De manera similar, los índices comunitarios agrupados por cuencas no mostraron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los parámetros calculados (**Figura 82**), lo cual probablemente se debe a que las cuencas baja y media están representadas únicamente por una estación de monitoreo cada una. Las mayores abundancias se registraron en la cuenca alta, particularmente en la estación Cah\_1 (**Figura 82a**), mientras que las menores se observaron en la cuenca baja, específicamente en la estación Cah\_5. Este patrón fue consistente tanto para la riqueza como para la diversidad de géneros (**Figuras 82b y 82c**, respectivamente). Finalmente, la uniformidad presentó valores altos y similares entre las cuencas media y alta, siendo el valor más bajo registrado en la cuenca baja (**Figura 82d**).

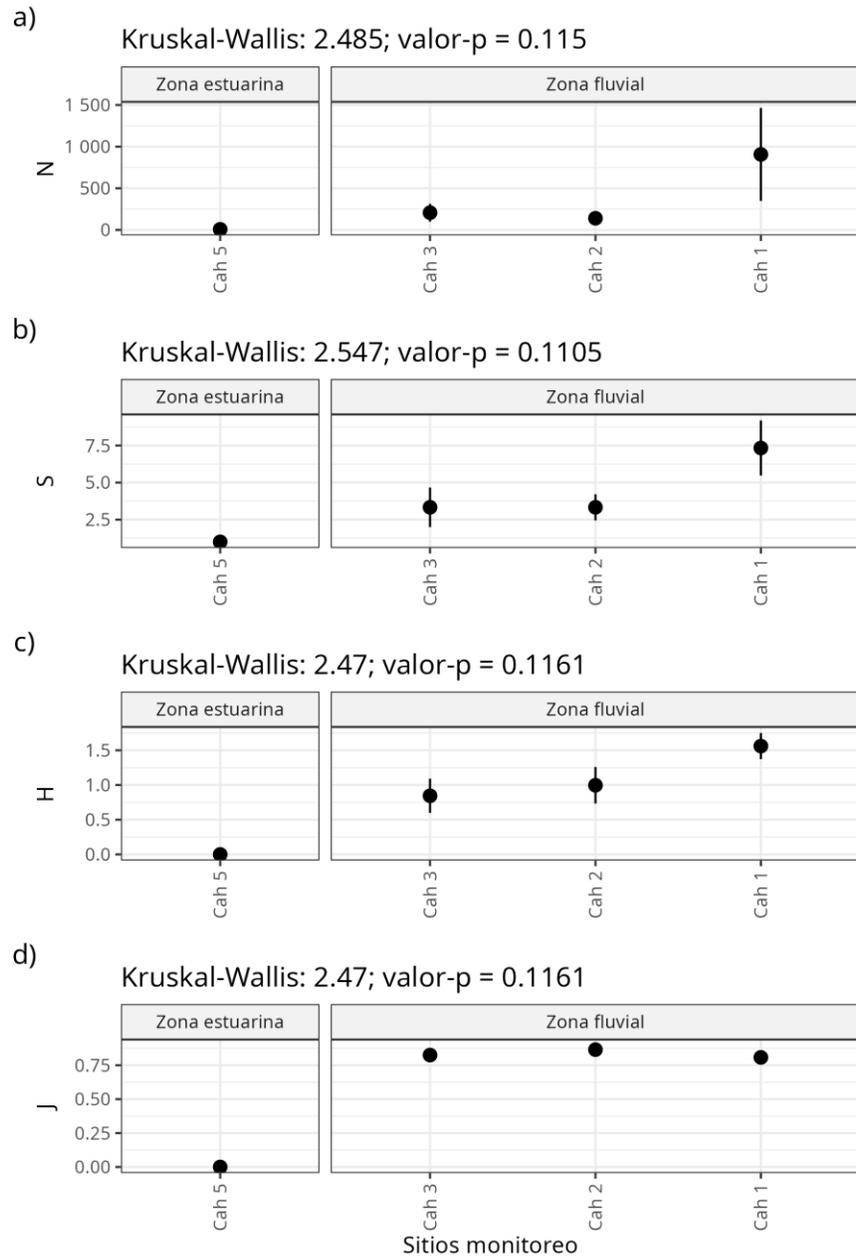
Finalmente, los índices comunitarios agrupados por zonas (estuarina y fluvial; **Figura 83**), al igual que el agrupamiento por cuencas, no muestra diferencias estadísticas en ninguno de los índices y probablemente por la misma razón (falta de puntos por zonas). Todos los índices calculados son mayores en la zona fluvial respecto de la zona estuarina.

Factor: Cuenca



**Figura 82.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Factor: Zona



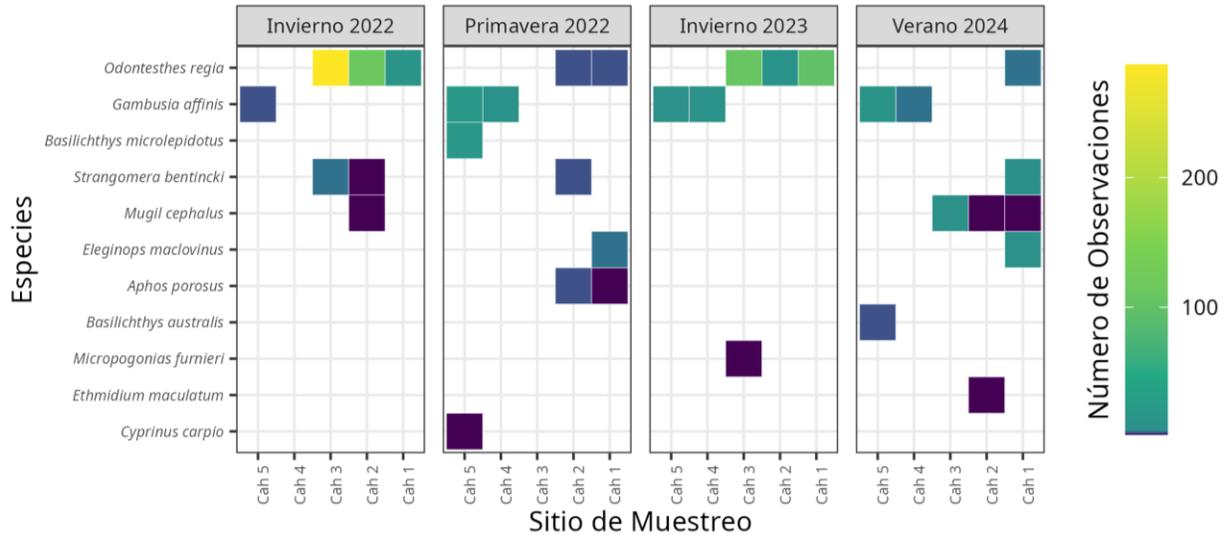
**Figura 83.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por zona y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

#### 4.6.2.2 Ictiofauna

Se registraron un total de 742 individuos colectados de fauna íctica del Humedal Cáhuil para las cuatro campañas de monitoreo (invierno 2022, primavera 2022, invierno 2023 y verano 2024), los cuales se distribuyeron en 11 especies: *Aphos porosus*, *Basilichthys australis*, *Basilichthys microlepidotus*, *Cyprinus carpio*, *Eleginops maclovinus*, *Ethmidium maculatum*, *Gambusia affinis*, *Micropogonias furnieri*, *Mugil cephalus*, *Odontesthes regia*, y *Strangomera bentincki*

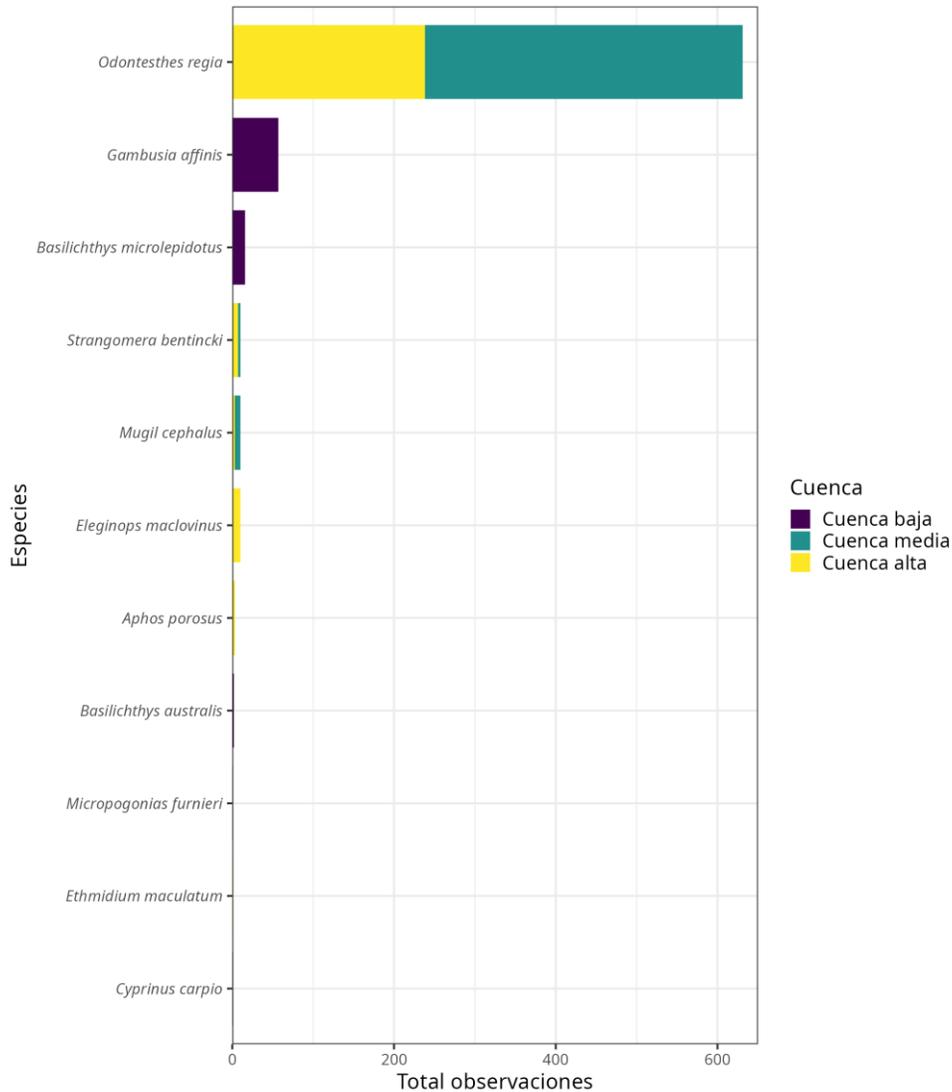
Respecto a la abundancia de la ictiofauna, y considerando las cuatro campañas de monitoreo, la especie *Odontesthes regia* presentó los mayores niveles acumulando un total de 631 individuos. En segundo lugar, los mayores niveles de abundancia los exhibió la especie *Gambusia affinis* con 57 individuos. Las seis especies restantes registraron abundancias bajas, inferiores a 16 individuos cada una.

A nivel temporal, la abundancia de ictiofauna por cada campaña de monitoreo (**Figura 84**), refleja que invierno de 2022 presenta una abundancia total de 417 individuos, distribuidos entre las especies *Gambusia affinis* (N = 2), *Mugil cephalus* (N = 1), *Odontesthes regia* (N = 410), y *Strangomera bentincki* (N = 4). En esta campaña, destaca el sitio de monitoreo Cah\_3 al presentan los mayores niveles de abundancia en términos espaciales, seguida por Cah\_2. La segunda campaña de monitoreo que presentó niveles altos de abundancia corresponde a invierno 2023 con 229 individuos, distribuidos entre las especies *Gambusia affinis* (N = 14), *Micropogonias furnieri* (N = 1), y *Odontesthes regia* (N = 214). Destaca los niveles registrados en los sitios Cah\_3 y Cah\_1, particularmente para la especie *Odontesthes regia*. En contraparte, las campañas de primavera 2022 y verano 2024 presentaron las menores abundancias, alcanzando los 55 y 41 individuos, respectivamente.



**Figura 84.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de ictiofauna por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia.

A nivel espacial, la mayor abundancia de ictiofauna en el humedal Cáhuil (**Figura 85**) se concentra en la parte media de la cuenca, destacándose los sitios de monitoreo Cah\_3, Cah\_6 y Cah\_7. Esta alta abundancia se debe principalmente a la predominancia de la especie *Odontesthes regia*, que domina en estas áreas. Además, *Odontesthes regia* también mostró una notable presencia en la parte alta de la cuenca, específicamente en los sitios Cah\_1 y Cah\_2. En contraste, la parte baja de la cuenca, representada por los sitios Cah\_4 y Cah\_5, mostró una abundancia significativamente menor. En esta zona, solo se destacó la presencia de *Gambusia affinis*, que fue la única especie con representación significativa, aunque en niveles relativamente bajos en comparación con las otras zonas. El resto de las especies no tuvieron una representación significativa en ninguna parte de la cuenca, lo que sugiere una baja diversidad espacial en cuanto a abundancia.



**Figura 85.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de ictiofauna por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

El análisis de la estructura comunitaria de la ictiofauna por zona de monitoreo (**Figura 86**) se realizó considerando el total de taxones registrados en cada campaña de monitoreo, agrupados en a) Campaña, en b) Cuenca, y c) Zona.

La **Figura 86a** presenta el análisis de la estructura comunitaria agrupado por campaña de monitoreo, donde no se observan diferencias estadísticamente significativas en la composición de taxa entre las distintas campañas (PERMANOVA  $R^2 = 0,13$ ;  $p = 0,643$ ). Del mismo modo, la **Figura 86b** muestra el análisis agrupado por parte de la cuenca, sin diferencias significativas en

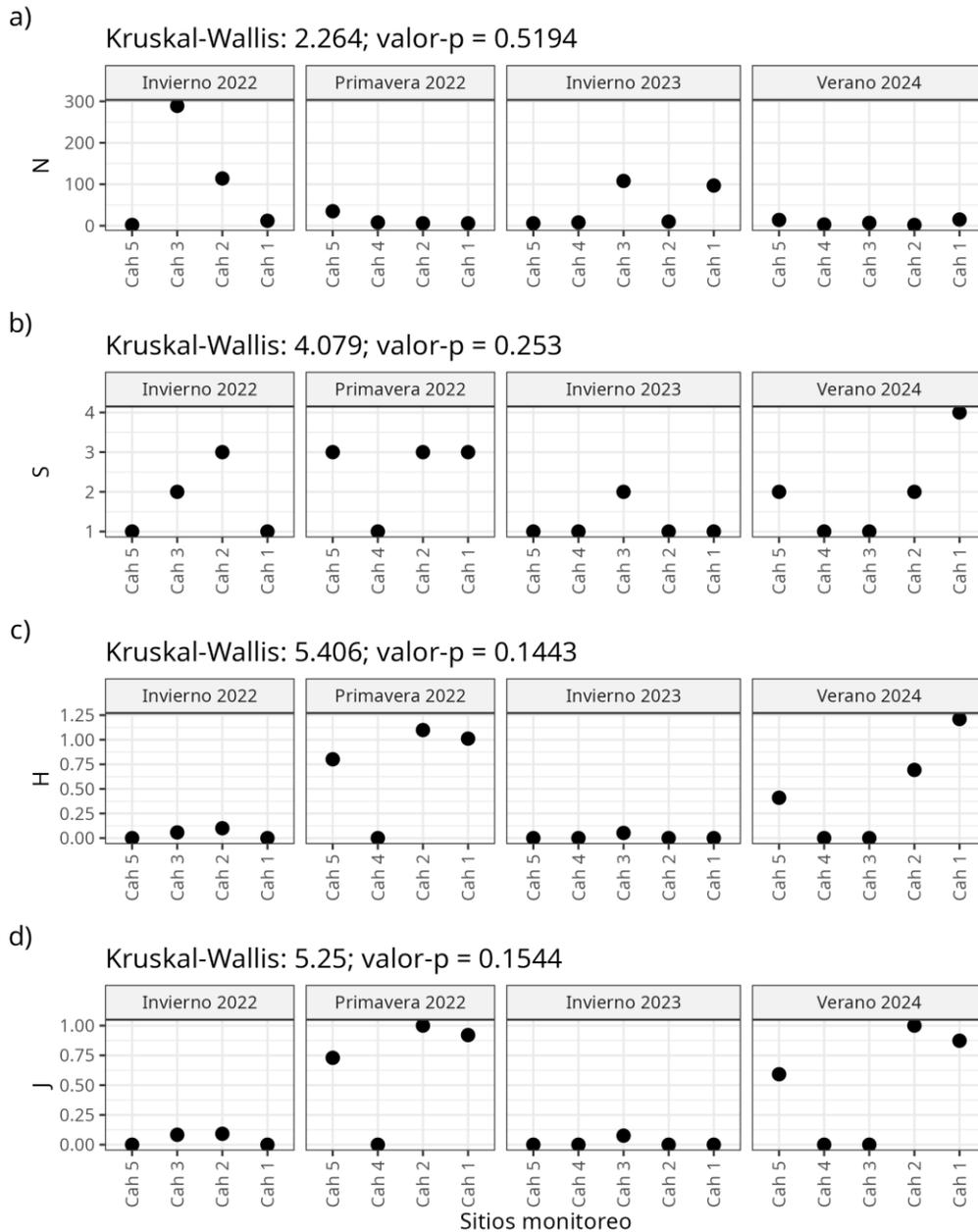


El análisis de los índices de biodiversidad para la ictiofauna reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas en todos los indicadores Abundancia (N), Riqueza de taxones (S), Diversidad de Shannon (H), y Uniformidad de Pielou (J), entre las distintas campañas de monitoreo, según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ; **Figura 87**).

Respecto a la abundancia (N) registrada durante las campañas de monitoreo, se observa que los mayores niveles se encontraron en el sitio de monitoreo Cah\_3 durante invierno de 2022 ( $N \sim 300$ ). El resto de las estaciones presentaron abundancias moderadas con niveles por debajo de 150 individuos para todas las campañas. La Riqueza de taxones (S) presentó su nivel más alto en el sitio Cah\_1 durante la campaña verano de 2024, alcanzando una riqueza de 4 especies, mientras que, para las otras campañas, todos los sitios de monitoreo presentaron una riqueza  $S \leq 3$ .

Los valores de diversidad de Shannon (H) fueron moderados a bajo en todas las campañas de monitoreo, en todos los casos con un nivel inferior a 1,5. El mayor nivel de diversidad se registra en el sitio Cah\_1 durante verano de 2024, seguida de los sitios Cah\_2 y Cah\_1 durante primavera de 2022. Por otro lado, los valores del índice de Uniformidad de Pielou (J') mostraron un comportamiento similar a la diversidad de Shannon, donde los mayores niveles se registraron en Cah\_1 y Cah\_2 durante las campañas de primavera 2022 y verano 2024.

Factor: Campaña

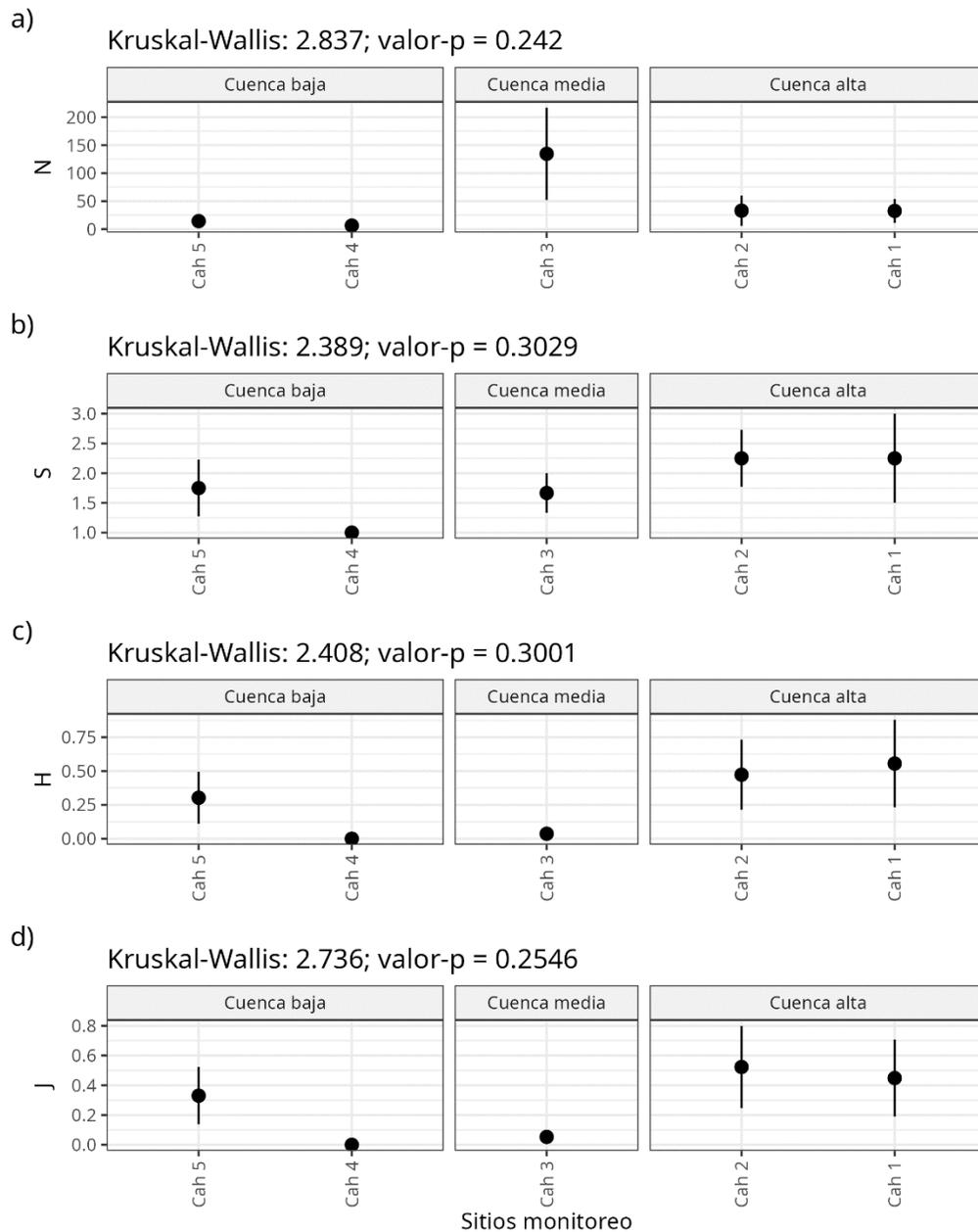


**Figura 87.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

El análisis de los índices de biodiversidad para la ictiofauna reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas en todos los indicadores Abundancia (N), Riqueza de taxones (S), Diversidad de Shannon (H), y Uniformidad de Pielou (J), entre las distintas zonas de la cuenca, según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ; **Figura 88**).

En cuanto a la abundancia (N), la zona media de la cuenca (Cah\_3) registró los niveles más altos, alcanzando más de 100 individuos ( $N > 100$ ), mientras que las zonas alta y baja de la cuenca exhibieron los niveles más bajos en todos los sitios de monitoreo ( $N < 50$ ). La riqueza de taxones (S) presentó su nivel más alto en la cuenca alta (Cah\_2 y Cah\_3), con un valor aproximado de  $S \sim 2,5$ , mientras que la cuenca baja mostró la menor riqueza, especialmente en Cah\_4 ( $S = 1,0$ ). Los valores de diversidad de Shannon (H) y Uniformidad de Pielou (J') siguieron un patrón similar, con los mayores niveles de ambos índices registrados en la cuenca alta.

Factor: Cuenca

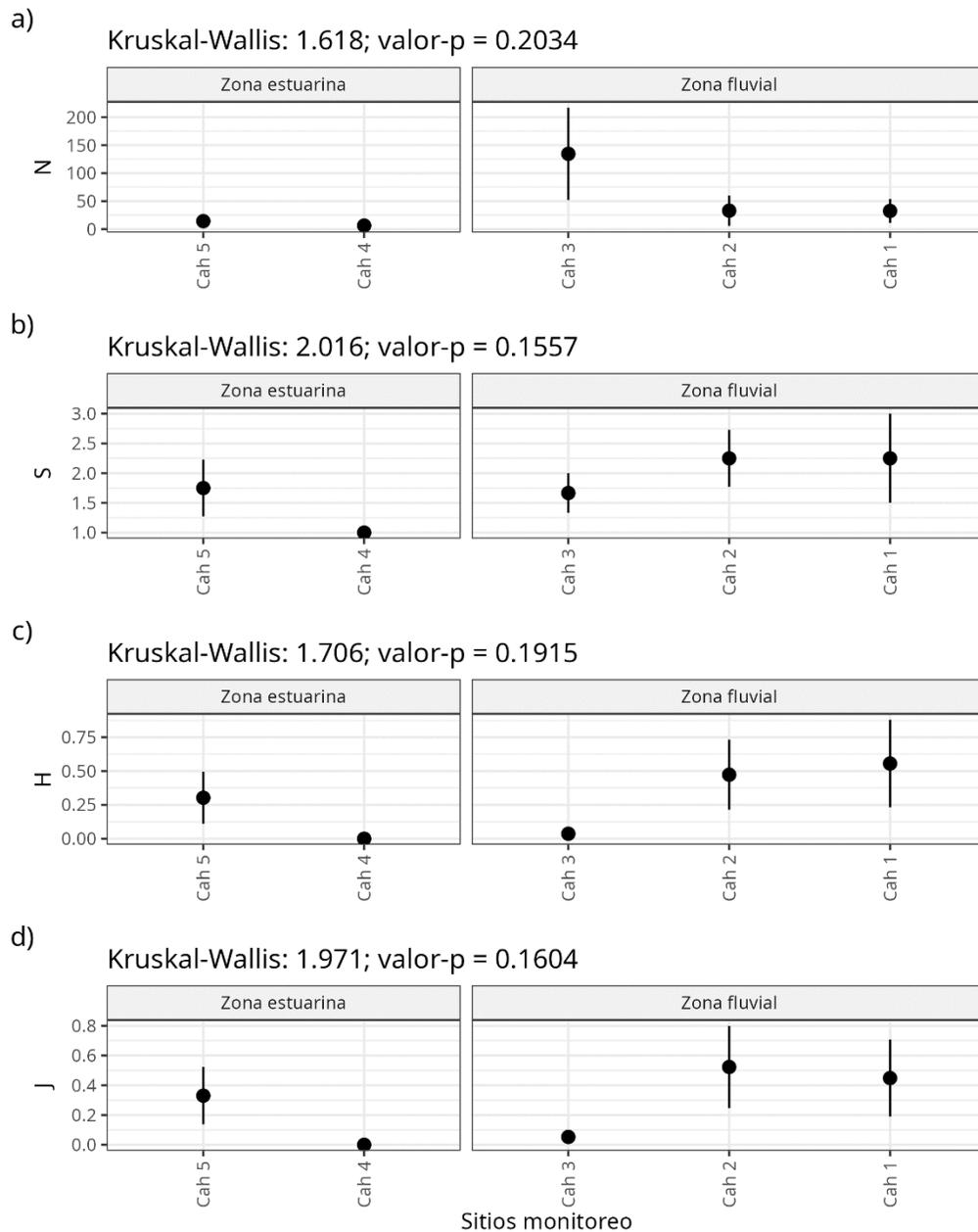


**Figura 88.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

El análisis de los índices de biodiversidad para la ictiofauna reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas en todos los indicadores Abundancia (N), Riqueza de taxones (S), Diversidad de Shannon (H), y Uniformidad de Pielou (J), entre las distintas zonas de monitoreo, según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ; **Figura 89**).

Respecto a la abundancia (N) registrada en las zonas ecológicas, se observa que los mayores niveles se registran en la zona fluvial, particularmente en Cah\_3 que alcanzó un  $N > 100$  individuos. La Riqueza de taxones (S), de igual forma, exhibió sus mayores niveles en la zona fluvial, destacando los sitios Cah\_2 y Cah\_3 con  $S > 2,0$ . Los valores de diversidad de Shannon (H) y Uniformidad de Pielou (J') siguieron un patrón similar, con los mayores niveles de ambos índices registrados en la zona fluvial (Cah\_2 y Cah\_3). Los menores niveles de los cuatro índices comunitarios evaluados se registraron en la zona estuarina, particularmente en el sitio de monitoreo Cah\_4.

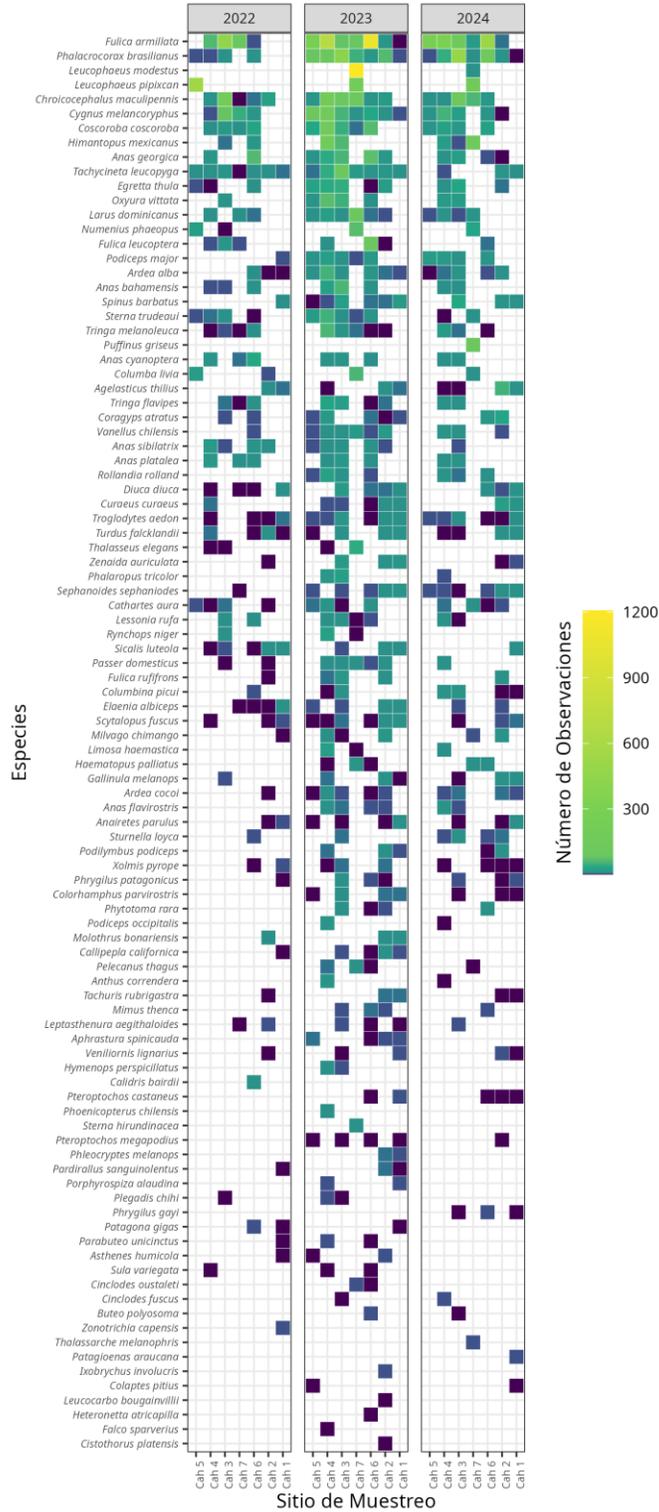
Factor: Zona



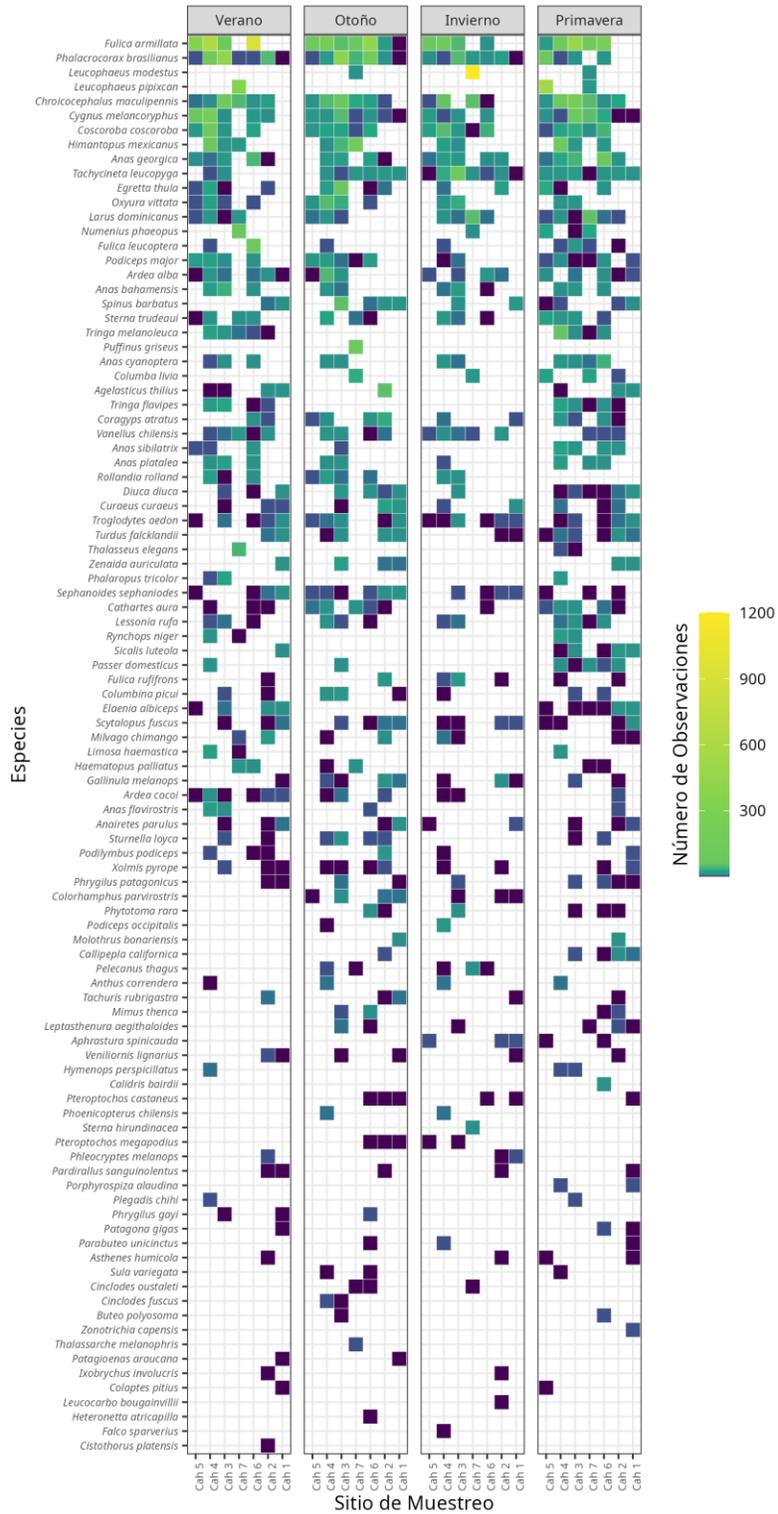
**Figura 89.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Elaboración propia.

#### 4.6.2.3 Avifauna

El análisis de la diversidad de la avifauna del humedal revela que, durante las siete campañas de monitoreo realizadas, se registró un total de 13,649 individuos pertenecientes a 98 especies. Las especies con mayores abundancias fueron *Fulica armillata*, *Phalacrocorax brasilianus* y *Leucophaeus pipixcan*, con estimaciones de 4.072, 1.389 y 1.211 individuos, respectivamente. Desde una perspectiva anual, 2023 fue, con diferencia, el año en el que se registró la mayor abundancia total, con 7.980 individuos. En 2022 se contabilizaron 2.099 individuos y, hasta la fecha de la última carga de datos, se han registrado 3.570 individuos en 2024 (**Figura 90**). Desde una perspectiva estacional, los valores fueron más similares entre estaciones, con el verano siendo la estación de mayor abundancia, con 4.642 individuos, mientras que esta cifra descendió a 2.375 durante el invierno (**Figura 91**).

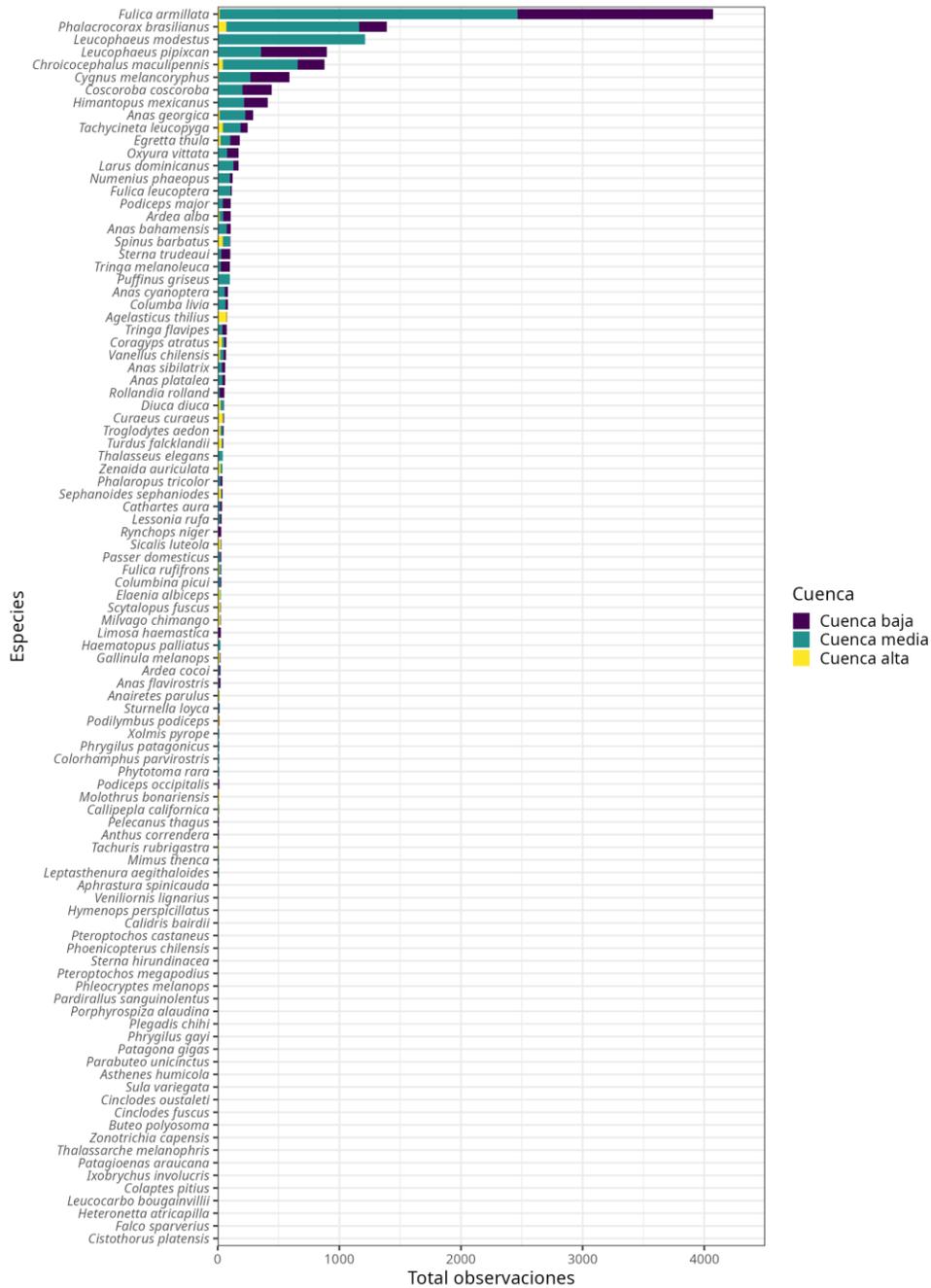


**Figura 90.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por año sitio y año de monitoreo. Elaboración propia.



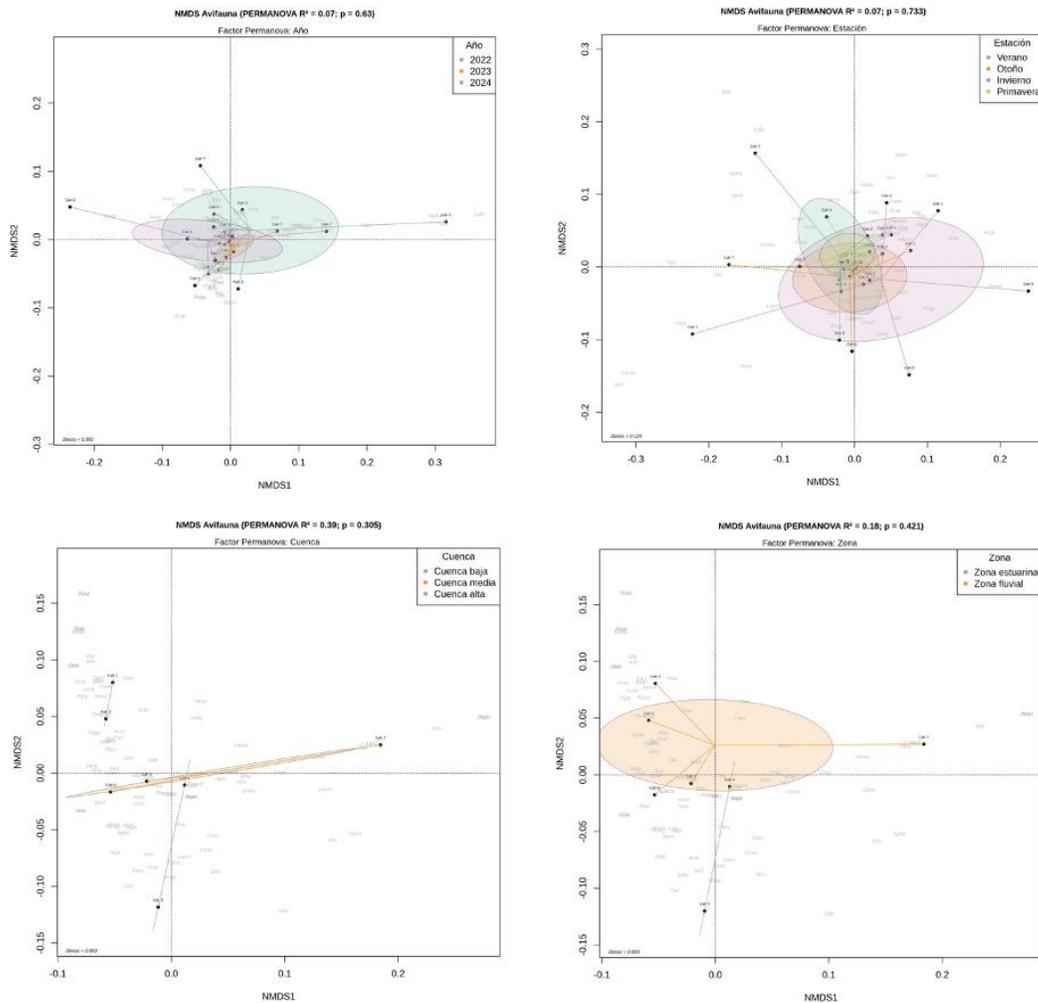
**Figura 91.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por sitio de monitoreo y estaciones climáticas. Elaboración propia.

Desde una perspectiva espacial (**Figura 92**), en este humedal, las mayores abundancias fueron registradas en estaciones pertenecientes a la cuenca media (Cah\_5, Cah\_7 y Cah\_6), aunque hubo excepciones, como en el caso de *Agelasticus thilius*, cuyos individuos fueron observados casi exclusivamente en la cuenca alta.



**Figura 92.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de aves por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

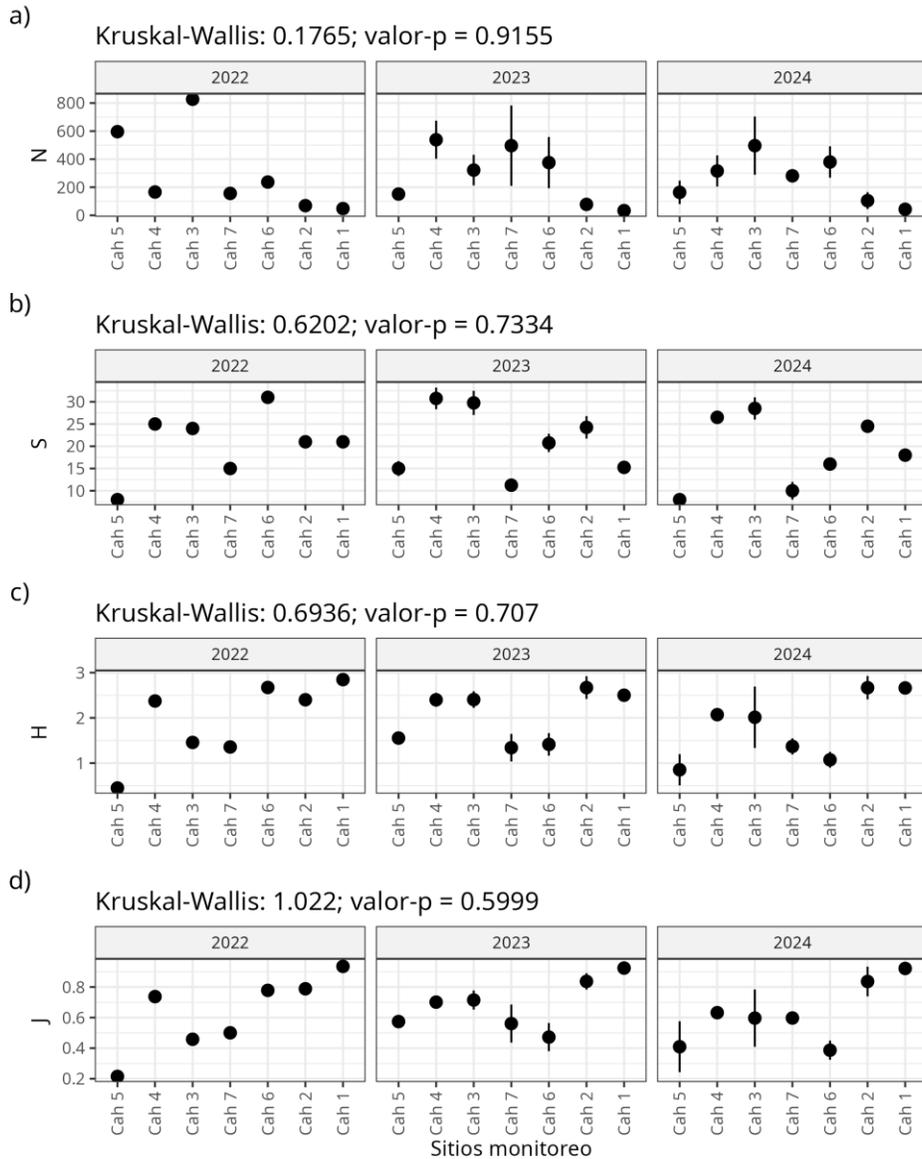
El análisis de la estructura comunitaria indica que no se observó una composición de especies diferencial en ninguna de las dimensiones temporales (año y estaciones climáticas; **Figura 93a y 93b**). Sin embargo, a nivel espacial, tanto entre cuencas como entre zonas (estuarina y fluvial), se aprecia una tendencia hacia la diferenciación en la composición de especies. No obstante, esta diferenciación no estaría respaldada estadísticamente (valores  $p = 0,305$  para cuencas y de  $0,421$  para zonas; **Figura 93c y 93d**, respectivamente), probablemente debido al número limitado de puntos representados en cada zona.



**Figura 93.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Año, b) por Estación climática, en c) por Cuenca, y en d) agrupados por Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

La comparación de los índices comunitarios a nivel anual indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los índices entre los años (**Figura 94**). En términos de abundancia, los años 2023 y 2024 presentan un patrón similar, con un aumento en las estaciones más costeras hasta alcanzar sus mayores niveles en las estaciones de la cuenca media, para luego descender hacia las estaciones ubicadas en la cuenca alta. En contraste, el año 2022 muestra un patrón completamente diferente, con los mayores valores registrados en la estación Cah\_3, seguida de Cah\_2, para luego disminuir drásticamente en el resto de las estaciones (**Figura 94a**). Para la riqueza de especies, se observan similitudes entre lo ocurrido en 2023 y el presente año, en los cuales las estaciones Cah\_4 y Cah\_3 presentan los mayores niveles de riqueza en comparación con el resto de las estaciones (**Figura 94b**). La diversidad muestra amplias variaciones anuales; sin embargo, los menores valores están asociados generalmente a las estaciones Cah\_5 y Cah\_7, mientras que los mayores se registran en Cah\_2 y Cah\_1 (**Figura 94c**). Finalmente, la uniformidad muestra patrones diferenciados entre los años: mientras que en 2022 se observa una tendencia a aumentar entre las estaciones Cah\_5 y Cah\_1, los años 2023 y 2024 son más similares entre sí, con una especie de distribución unimodal entre las estaciones Cah\_5 y Cah\_6, alcanzando los valores máximos en Cah\_2 y Cah\_1 (**Figura 94d**).

Factor: Año



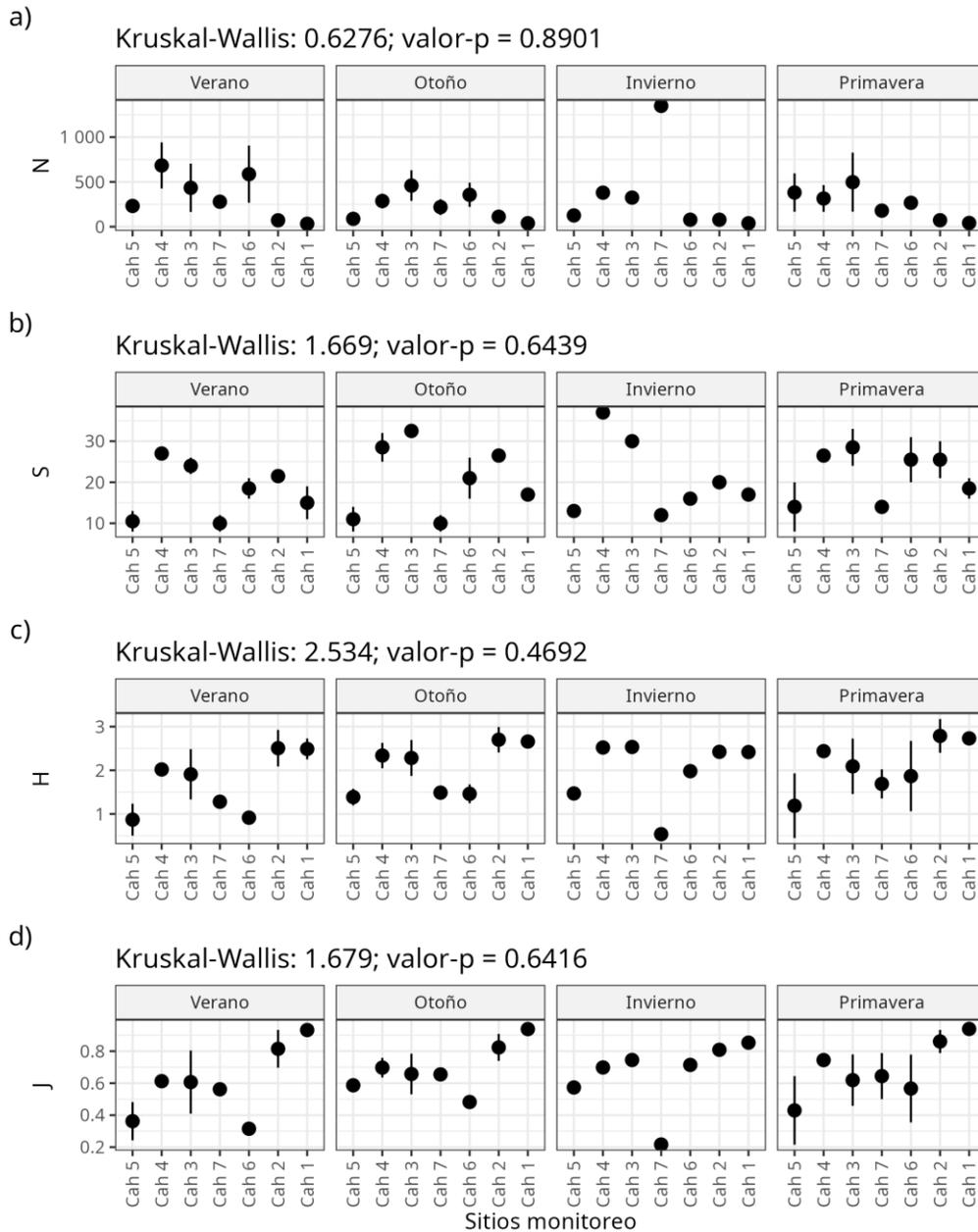
**Figura 94.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por año y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre los años. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

En términos estacionales, no se observaron diferencias estadísticas significativas en ninguno de los índices (**Figura 95**). La abundancia sigue un patrón unimodal tanto en otoño como en invierno, con un incremento hacia las estaciones de la cuenca media y una posterior disminución. Sin embargo, la estación Cah\_7 muestra una anomalía destacada: mientras que el valor máximo de

abundancia en las estaciones de la cuenca media suele rondar los 800 individuos, Cah\_7 registró en invierno un valor excepcionalmente alto, superior a 1500 individuos (**Figura 95a**). En contraste, durante el verano y la primavera, se observa una tendencia general de disminución de la abundancia desde las estaciones Cah\_3 o Cah\_4 hacia estaciones ubicadas más río arriba. Para la riqueza de especies (**Figura 95b**), no se detecta un patrón claro, mostrando una alta variación entre las estaciones de monitoreo. Los menores valores se asociaron generalmente con las estaciones Cah\_5 y Cah\_7, mientras que los mayores se encontraron en Cah\_4 y Cah\_3. Un patrón similar se observa en la diversidad (**Figura 95c**), que también muestra una extensa variación entre las estaciones de monitoreo, con los menores valores asociados a Cah\_5 y Cah\_7, y los mayores a Cah\_2 y Cah\_1. Finalmente, la uniformidad (**Figura 95d**) muestra un comportamiento similar entre verano y otoño, siguiendo una curva unimodal entre las estaciones Cah\_5 y Cah\_6, y luego aumentando abruptamente en Cah\_2 y Cah\_1. En invierno y primavera, se observa una tendencia similar, aunque con algunas excepciones notables, de aumento de la uniformidad desde las estaciones más costeras hacia las ubicadas río arriba.

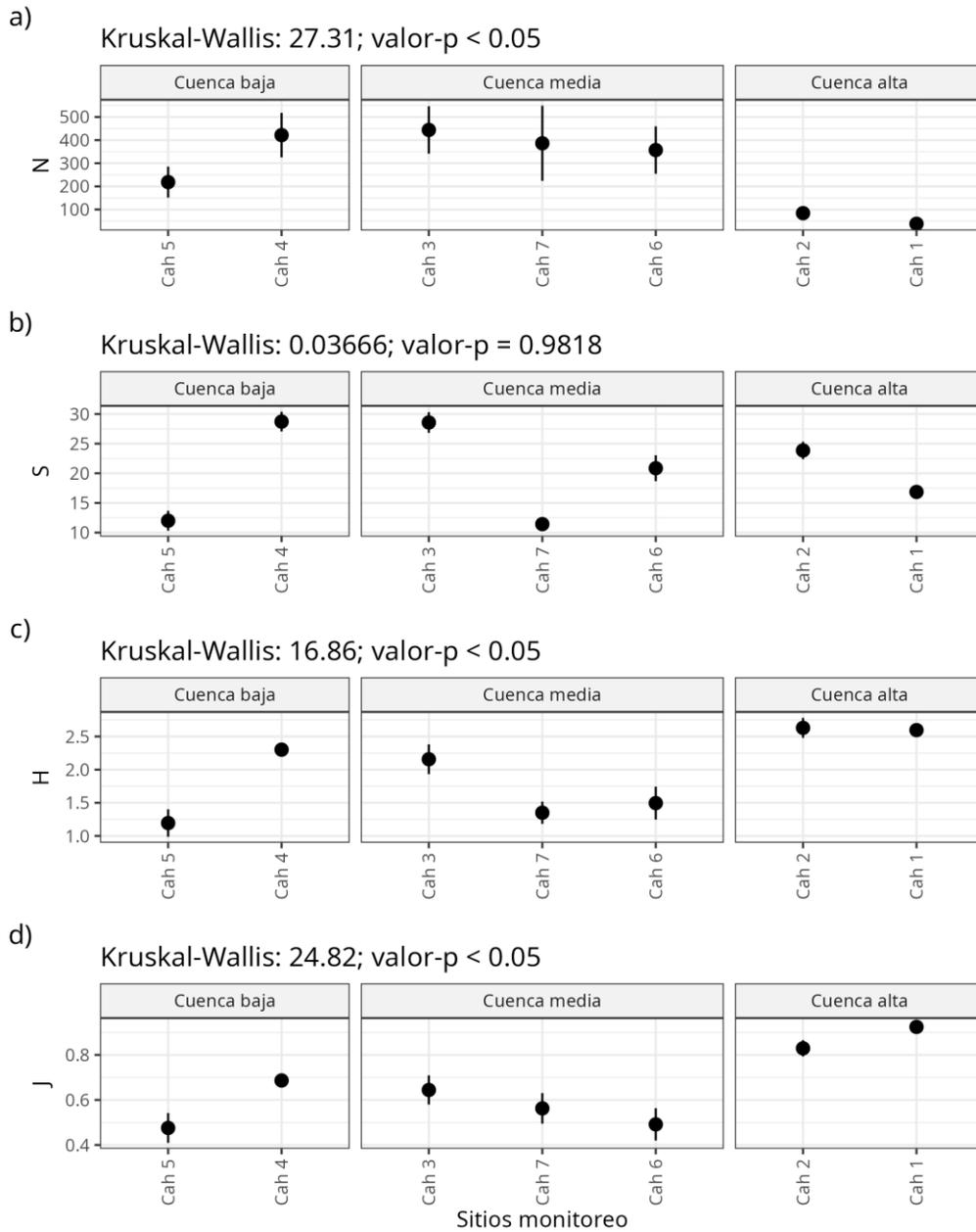
En términos espaciales, específicamente considerando las cuencas en las que se agruparon las estaciones, todos los índices, salvo la riqueza de especies, mostraron diferencias estadísticamente significativas entre cuencas (**Figura 96**). La abundancia (**Figura 96a**) es mayor en la cuenca media y significativamente menor en la cuenca alta. En contraste, la riqueza de especies (**Figura 96b**) no presenta un patrón claro y muestra alta variabilidad entre las cuencas. La diversidad (**Figura 96c**) es significativamente mayor en la cuenca alta, mientras que, en promedio, la diversidad es similar entre las cuencas baja y media. Este patrón es consistente con el observado para la uniformidad (**Figura 96d**), que también muestra una tendencia similar entre las cuencas. Finalmente, la comparación de los índices comunitarios entre las zonas estuarina y fluvial indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre los valores de los índices en ambas zonas (**Figura 97**), mostrando patrones similares a los reportados para las cuencas debido a la naturaleza de las clasificaciones (i.e zona estuarina corresponde a la cuenca baja y la zona fluvial es el conjunto de las estaciones de las cuencas media y alta).

Factor: Estación



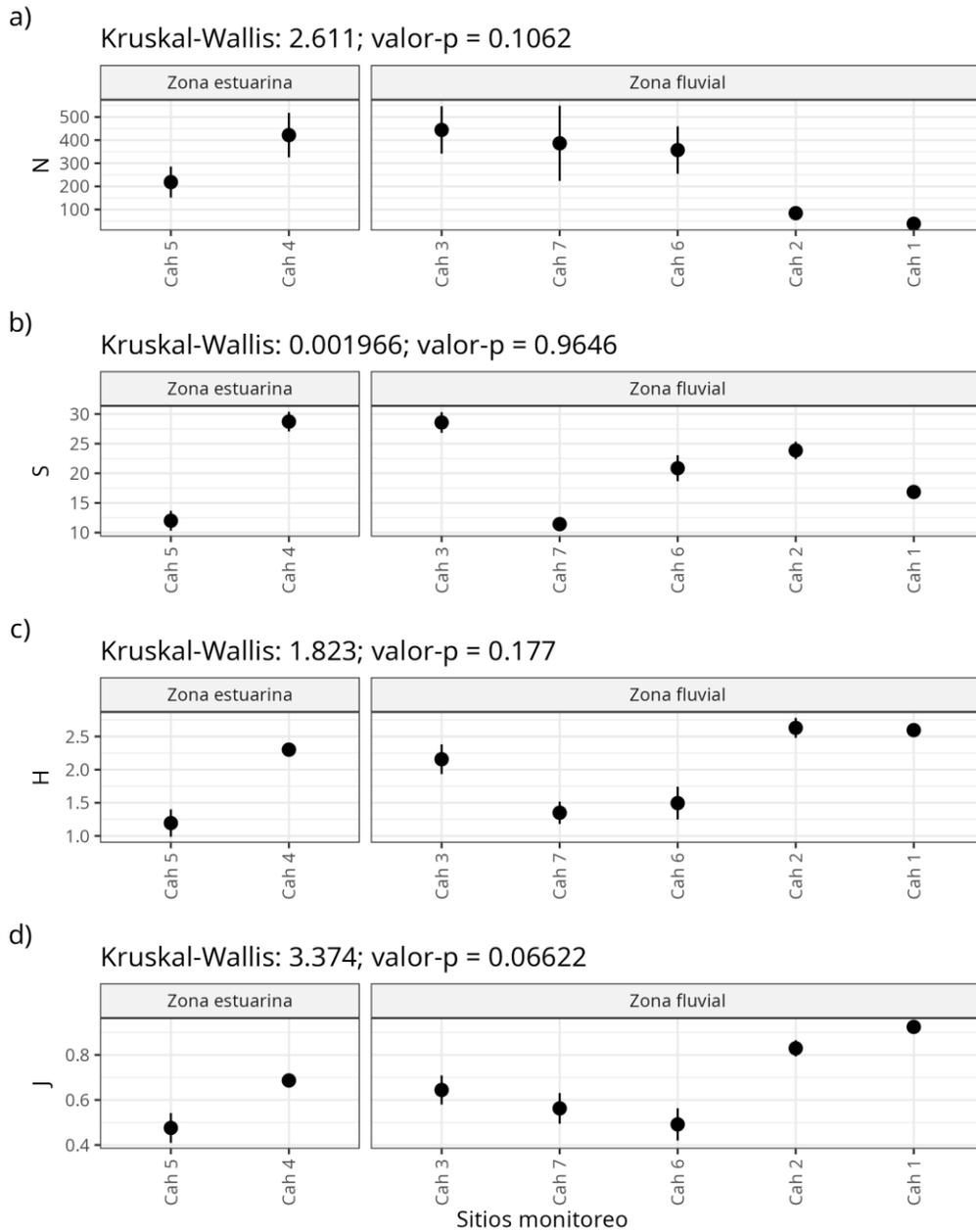
**Figura 95.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por estación climática y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las estaciones climáticas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Factor: Cuenca



**Figura 96.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

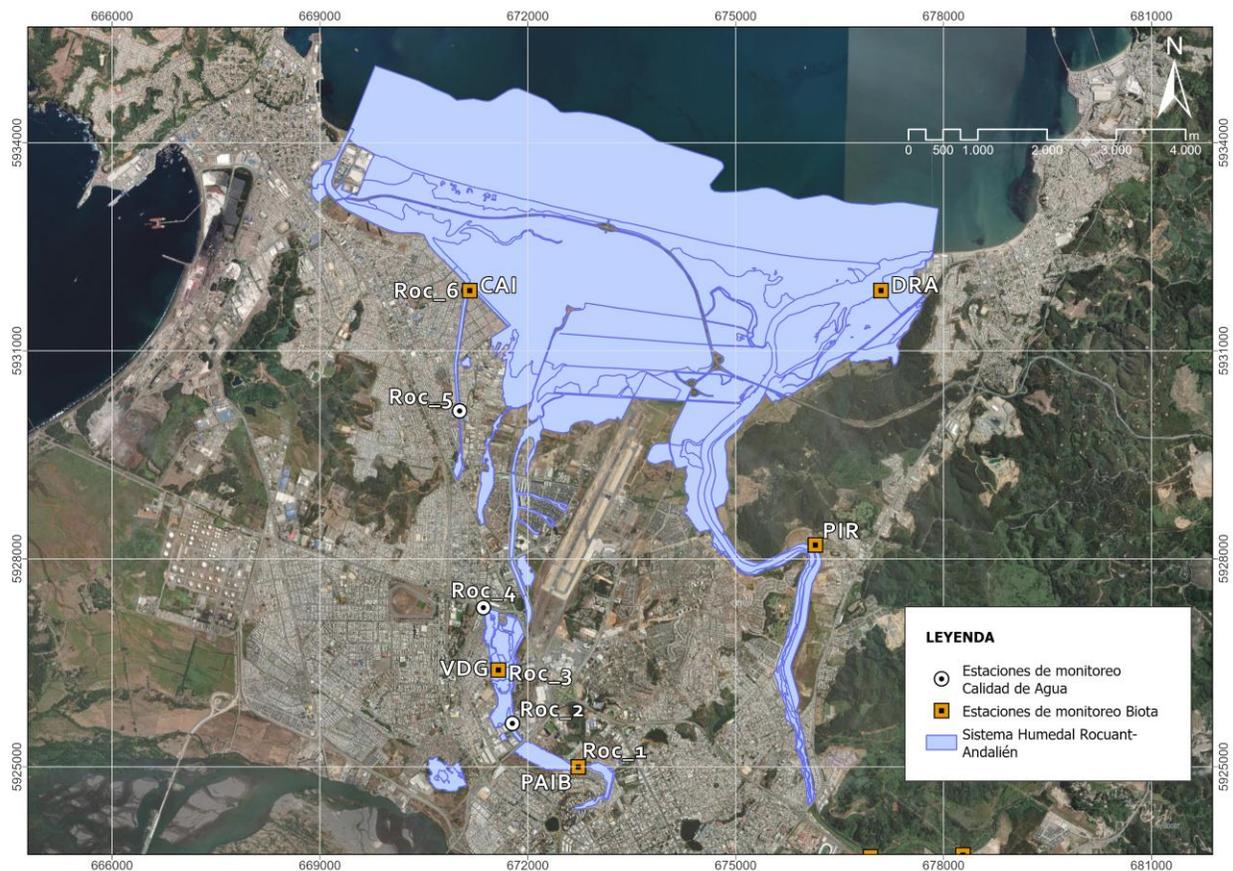
Factor: Zona



**Figura 97.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por zona y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

#### 4.7 Humedal Rocuant-Andalién

La **Figura 98** muestra el diseño del programa de monitoreo del Sistema de Humedales Rocuant-Andalién, que incluye un total de seis estaciones para la evaluación de la calidad de agua (Roc\_1 a Roc\_6) y siete estaciones dedicadas al monitoreo de biota (CAI, DRA, PAIB, PIR, VDG, RAV, RA-EN). Estas estaciones están distribuidas en los sistemas Rocuant, Andalién, Vasco Da Gama, Paicaví y Tucapel Bajo, lo que permite una cobertura de las diferentes áreas del sistema de humedales.



**Figura 98.** Estaciones de monitoreo ambiental del Humedal Rocuant-Andalién. Polígono extraído del estudio “Definición de límites e identificación de áreas prioritarias a restaurar del Sistema Humedal Rocuant-Andalién-Vasco Da Gama-Paicaví-Tucapel Bajo, comunas de Concepción, Hualpén, Talcahuano y Penco, Región del Biobío”, URBANCOST (2021). Coordenadas en UTM. Datum WGS84, Huso 18H. Elaboración propia.

#### 4.7.1 Calidad de agua parámetros *in situ*

##### 4.7.1.1 *Estadística descriptiva*

El análisis de la estadística descriptiva para los parámetros medidos en el Humedal Rocuant-Andalién revela que ninguno de los parámetros presenta un coeficiente de variación igual a cero (**Tabla 13**). Entre los 7 parámetros físico-químicos cuantificados, cuatro muestran coeficientes de variación superiores al 100%: conductividad (CE) con un 302%, oxígeno disuelto con un 237%, sólidos suspendidos totales (SST) con un 301%, y la salinidad (Sal) con un 316%. Estos resultados revelan una alta dispersión de los valores de los parámetros con respecto a su media, lo que refleja una notable variabilidad en las mediciones. Por su parte, el test de Shapiro-Wilk para el parámetro temperatura (T) arrojó un valor de 0,974 con un valor-p de 0,085 (**Tabla 13**), lo que indica que los datos presentan una distribución normal.

**Tabla 13.** Estadística descriptiva para parámetros físicoquímicos medidos en columna de agua. Nobs: número de observaciones, min =mínimo, max =máximo, prom =promedio, desvest =desviación estándar, cv% =coeficiente de variación, shapiro-wilk = estadístico W de la prueba Shapiro-Wilk, valor-p = valor-p de la prueba Shapiro-Wilk. CE: Conductividad Eléctica; OD: Oxígeno disuelto; OD Sat: Saturación oxígeno disuelto; SDT: Sólidos Disueltos Totales; Sal: Salinidad; T: Temperatura. Elaboración propia.

Sigla	Nobs	min	max	prom	desvest	<sup>1</sup> cv%	shapiro-wilk	<sup>2</sup> valor-p
CE	86	0	34640	1801.34	5442.27	<b>302%</b>	0,279	0,000
OD	31	0,37	649	58.45	138.45	<b>237%</b>	0,475	0,000
OD Sat	67	1.6	145.2	40,75	31.95	78%	0,897	0,000
pH	86	6.01	8.22	7.38	0,34	5%	0,966	0,023
Sal	80	0	66.7	2.74	8.65	<b>316%</b>	0,325	0,000
SST	80	0	9677	397.31	1194.18	<b>301%</b>	0,329	0,000
T	85	7.59	22.75	15.81	3.65	23%	0,974	<b>0,085</b>

<sup>1</sup> Se destacan en negrita los valores de coeficientes de variación mayores o iguales al 100%.

<sup>2</sup> Se destacan en negrita los valores de *p* del test Shapiro-Wilk mayores o iguales a 0,05.

##### 4.7.1.2 *Análisis por sitio de monitoreo*

La conductividad eléctrica (**Figura 99**) muestra una variación en los niveles medido durante los años 2022 y 2023. Los valores más altos de conductividad se observaron en las campañas de monitoreo de enero y mayo de 2022 en el sitio Roc\_6, ubicado en la Desembocadura Rocuant (parte baja del sistema de humedales), alcanzando un valor máximo de 33120  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En 2023, los mayores niveles se observaron en el sitio Roc\_5, localizado en Canal Ifarle, durante las campañas de mayo y junio, alcanzando un valor máximo de 5801  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

El oxígeno disuelto (**Figura 100**) presentó variaciones significativas en los niveles de concentración medidos durante las campañas de monitoreo de 2022 y 2023. En 2022, las mayores concentraciones se registraron en la campaña de agosto, destacando el sitio Roc\_2, ubicado en el humedal Vasco Da Gama, con un máximo de 649mg/l. Las segundas concentraciones más altas se observaron en el sitio Roc\_1, localizado en el humedal Paicaví-Tucapel Bajo, con niveles elevados durante las campañas de agosto y diciembre de 2022. Todas estas concentraciones superan el umbral que señala la detección de valores atípicos (línea punteada roja).

Cabe señalar que la detección de valores atípicos fue realizada utilizando el método del percentil, donde se definió un rango esperado basado en el rango intercuartílico (IQR), por lo tanto, los valores que se encontraban fuera del rango delimitado fueron considerados atípicos. Es importante mencionar que estos valores anómalos pueden estar relacionados con incertidumbres derivadas de los métodos de monitoreo, lo que genera datos erróneos que pueden distorsionar los resultados reales del análisis.

Por su parte, la saturación de oxígeno (**Figura 101**) presentó variaciones a lo largo del tiempo, donde para el año 2023 se presentan información parcial. Destacan los valores medidos en la estación Roc\_1, que alcanza un nivel máximo en la campaña de monitoreo de septiembre de 2022, alcanzando un 145,2%, lo cual supera la línea roja discontinua que indica el límite de valores atípicos.

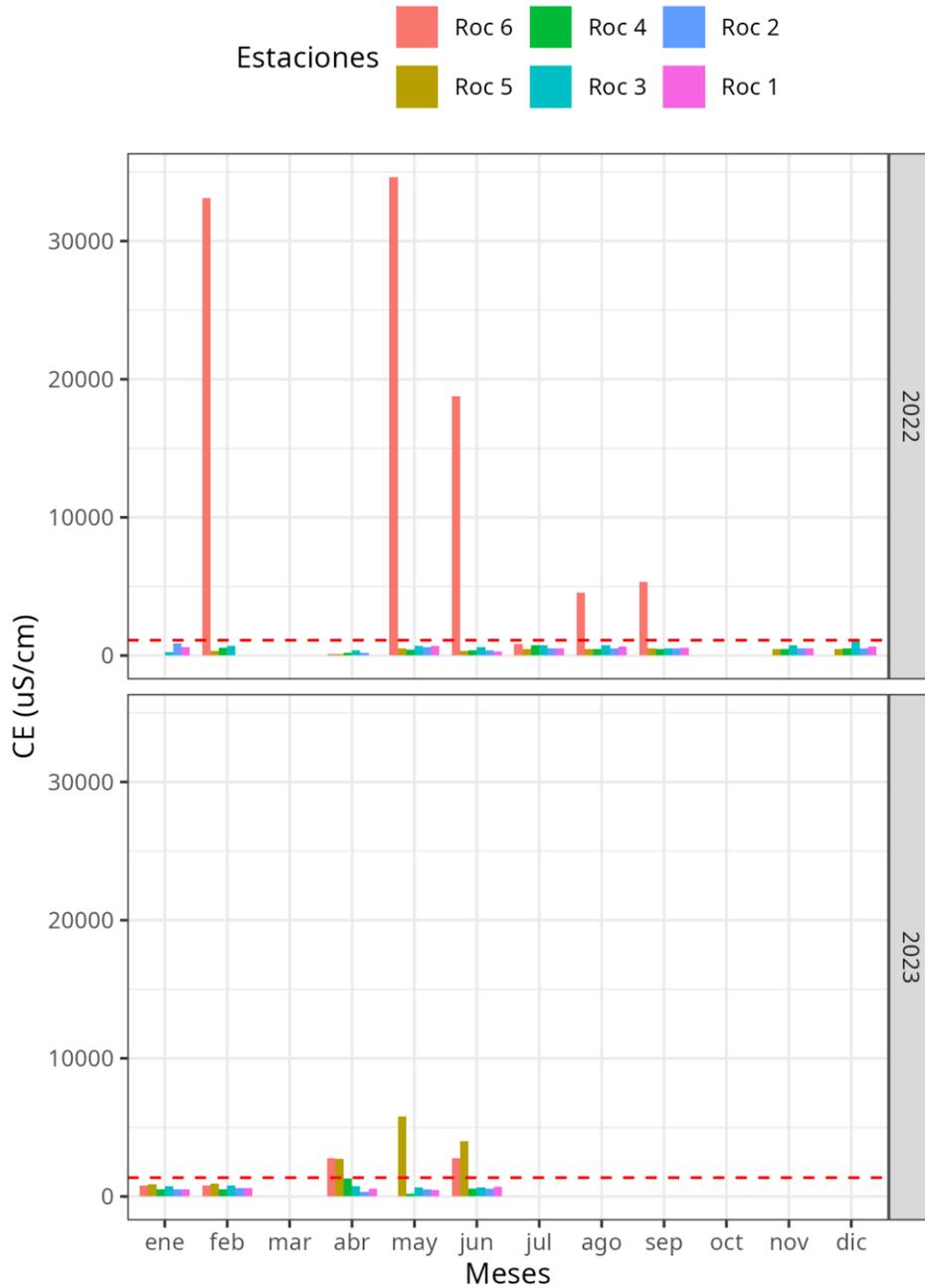
El pH (**Figura 102**) se mantuvo estable en los distintos sitios y campañas de monitoreo, con información parcial para el año 2023. En general, los valores de pH oscilaron entre 6,01 y 8,22.

La salinidad (**Figura103**) mostró variaciones tanto temporales como espaciales. El nivel máximo registrado se observó en el sitio de monitoreo Roc\_2 durante la campaña de agosto de 2022, alcanzando 66,7 PSU. En términos generales, el sitio Roc\_6, ubicado en la desembocadura del Rocuant, presentó consistentemente niveles altos a lo largo de las campañas, destacándose las concentraciones medidas en febrero, noviembre y diciembre de 2022, así como en abril, mayo y junio de 2023.

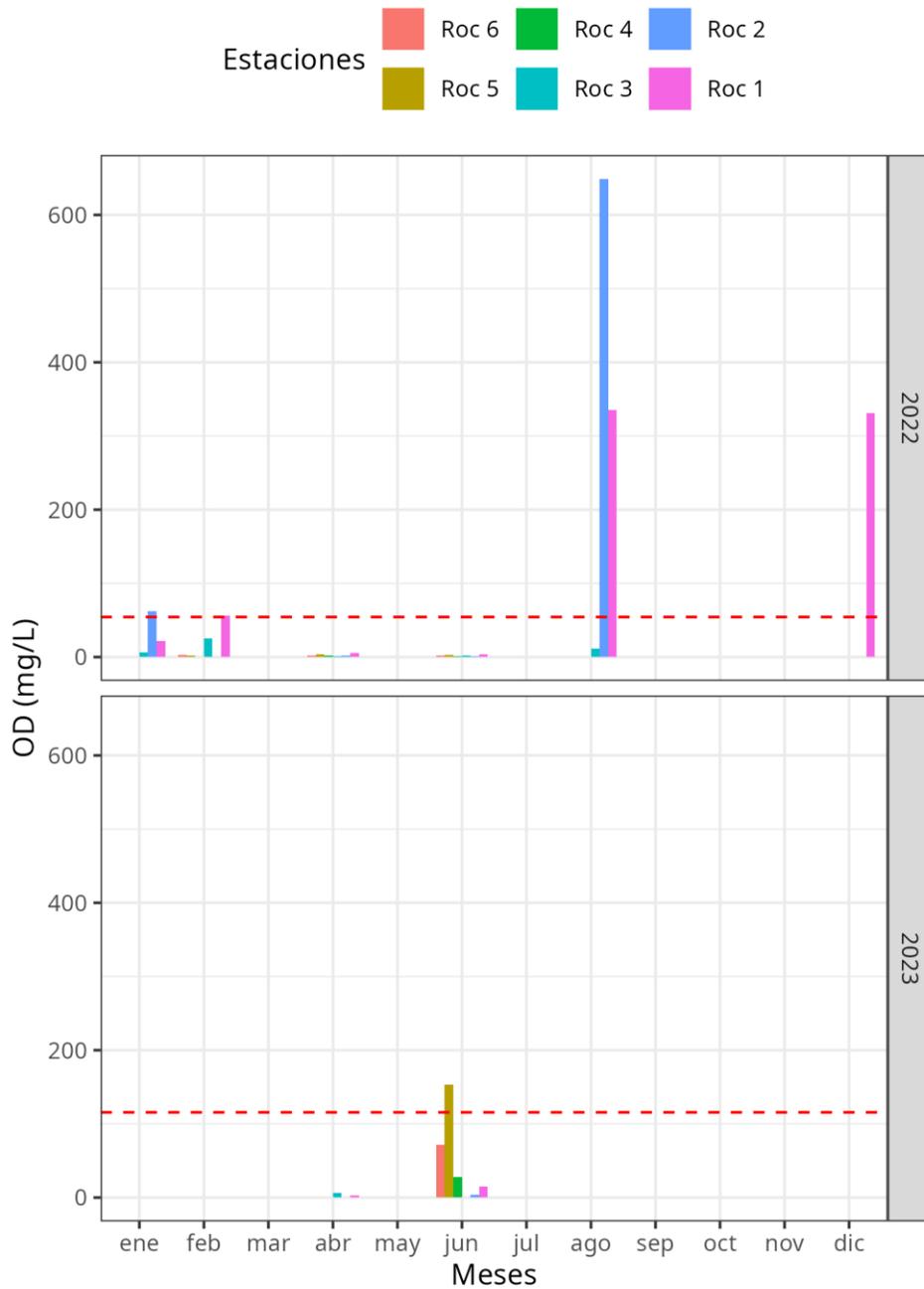
Los sólidos suspendidos totales (**Figura 104**) mostraron variaciones significativas en sus concentraciones a lo largo del tiempo. En 2023, se registraron los niveles más altos de este

parámetro, destacando la campaña de mayo en el sitio Roc\_6 (zona de desembocadura), donde se alcanzó una concentración de 9677mg/l. En 2022, los mayores niveles de sólidos suspendidos también se observaron en Roc\_6, durante las campañas de agosto y septiembre, con valores superiores a 2288mg/l.

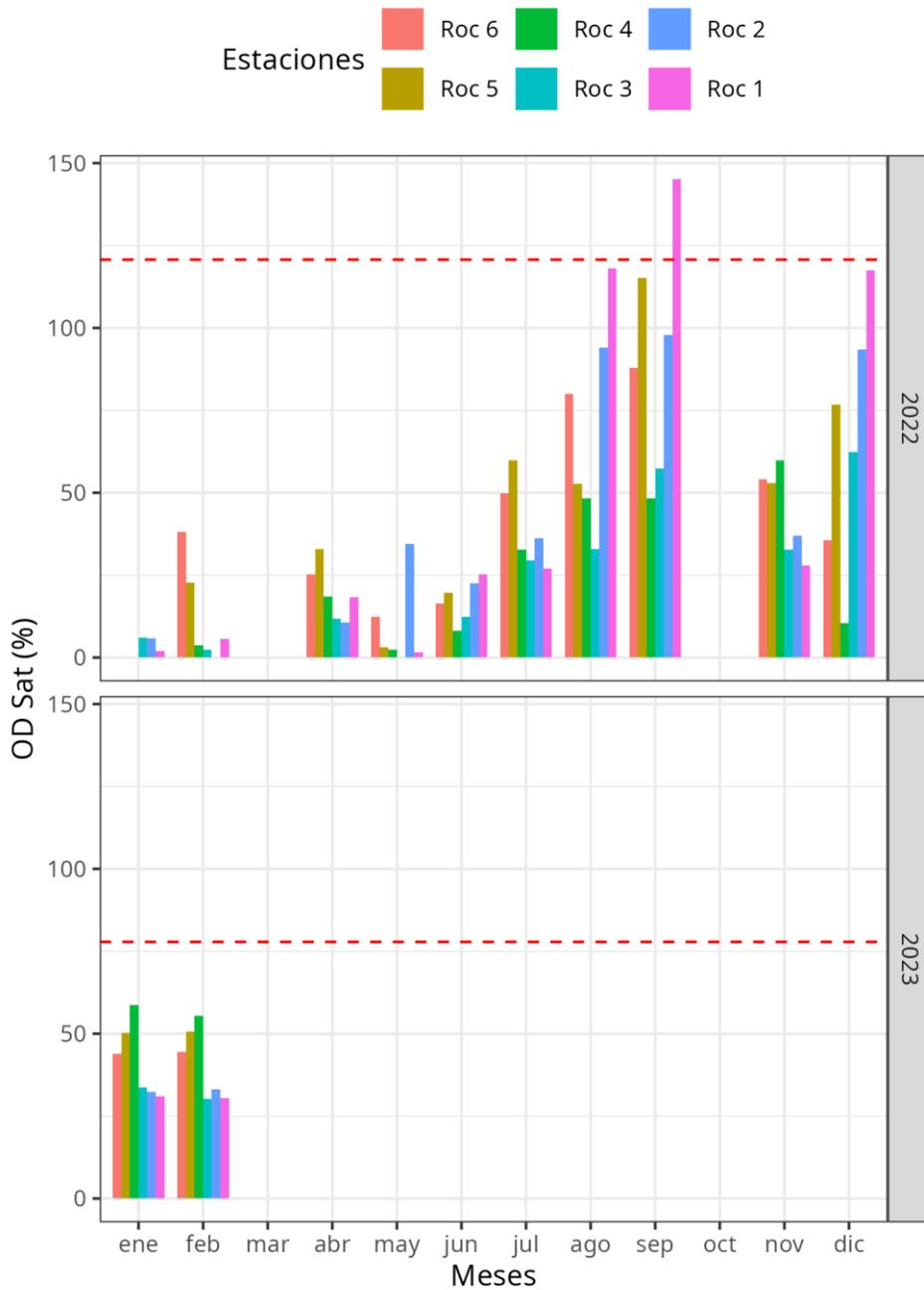
Finalmente, la temperatura (**Figura 105**) mostró variabilidad tanto espacial como temporal, con una tendencia a disminuir durante los meses de invierno. El nivel más bajo se registró en la campaña de mayo de 2022 en todos los sitios de monitoreo. Por otro lado, los meses de enero, febrero y diciembre presentaron las temperaturas más altas, alcanzando un máximo de 22,75°C en el sitio Roc\_3, durante enero de 2022.



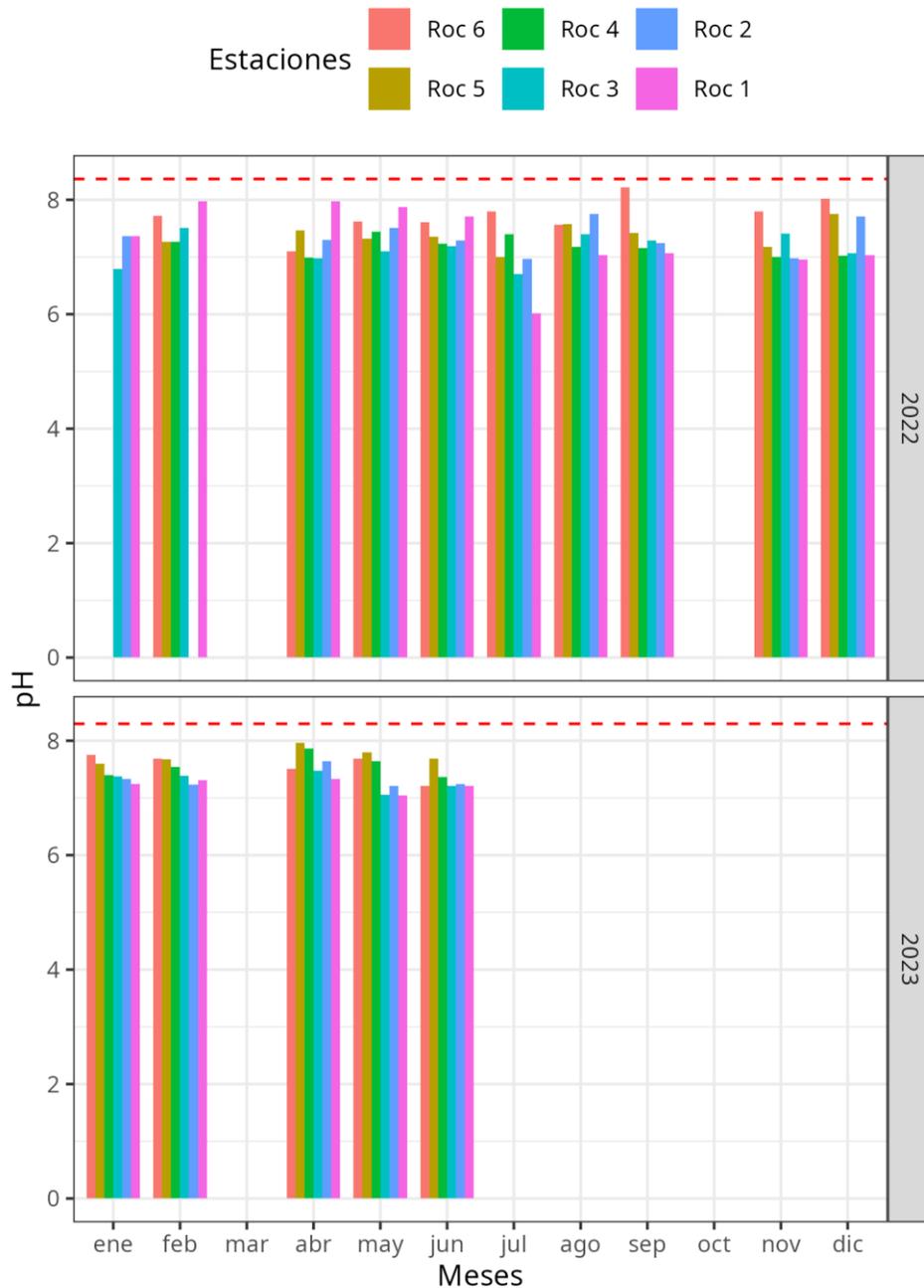
**Figura 99.** Conductividad Eléctrica (CE) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



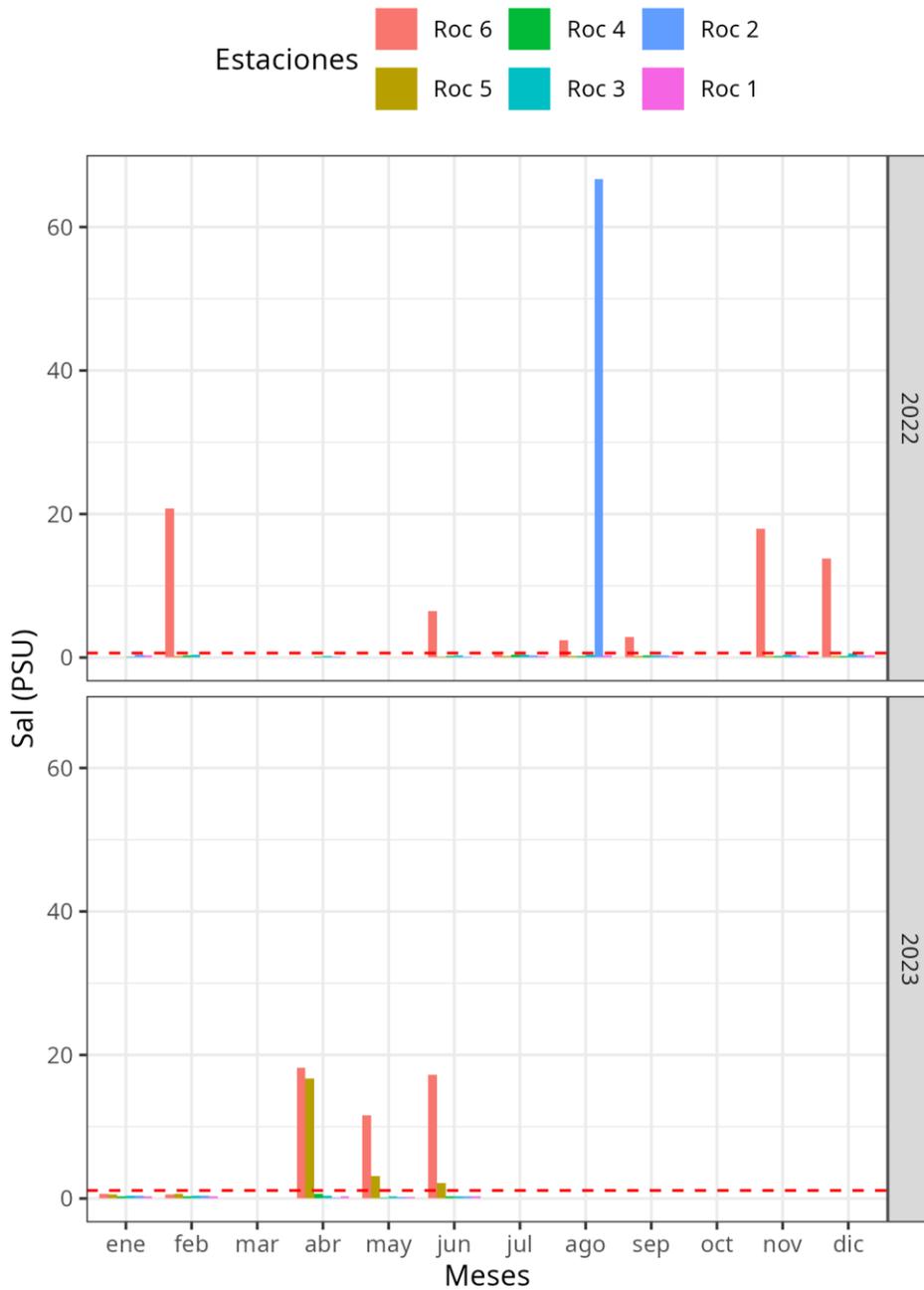
**Figura 100.** Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



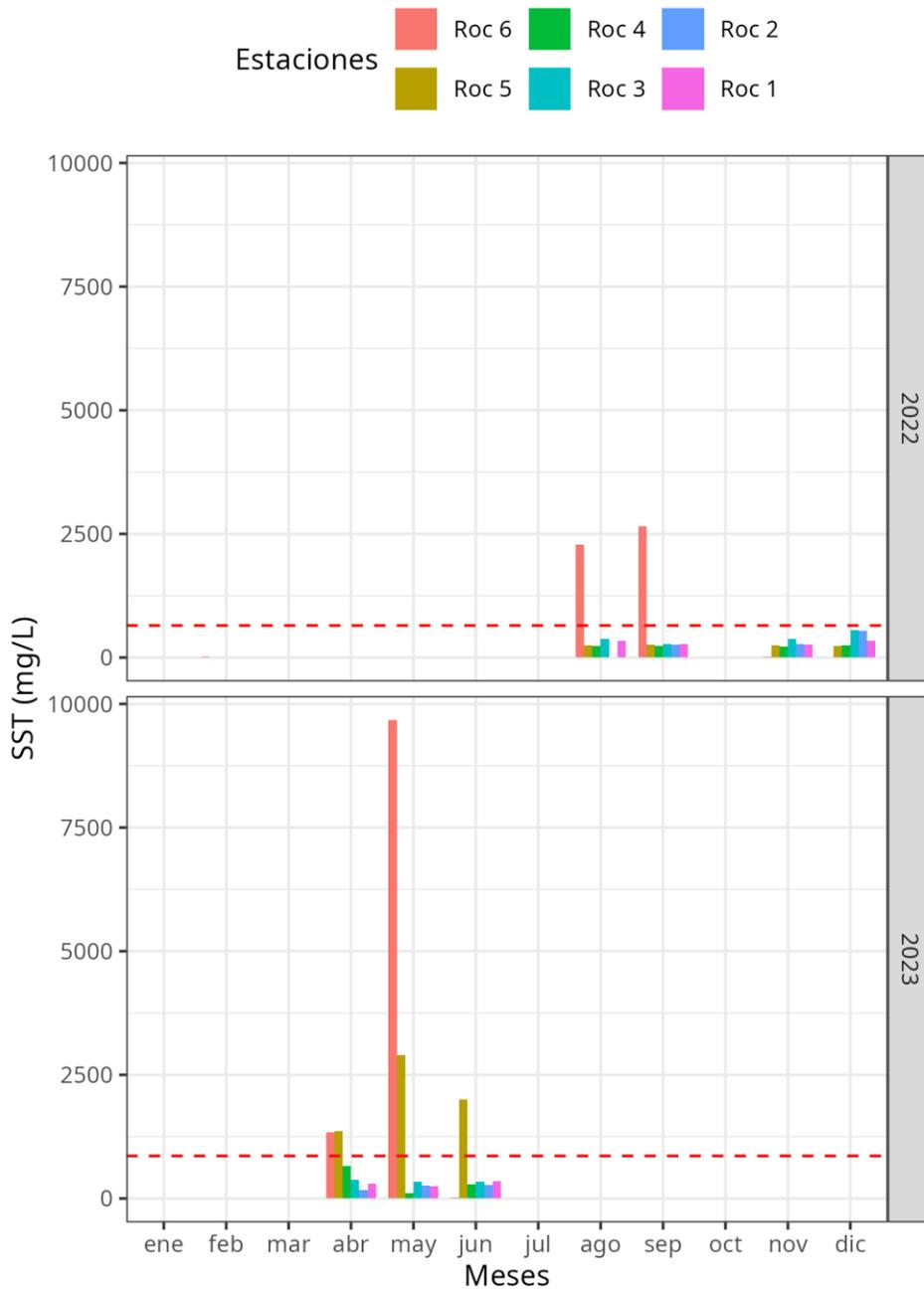
**Figura 101.** Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD Sat) cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



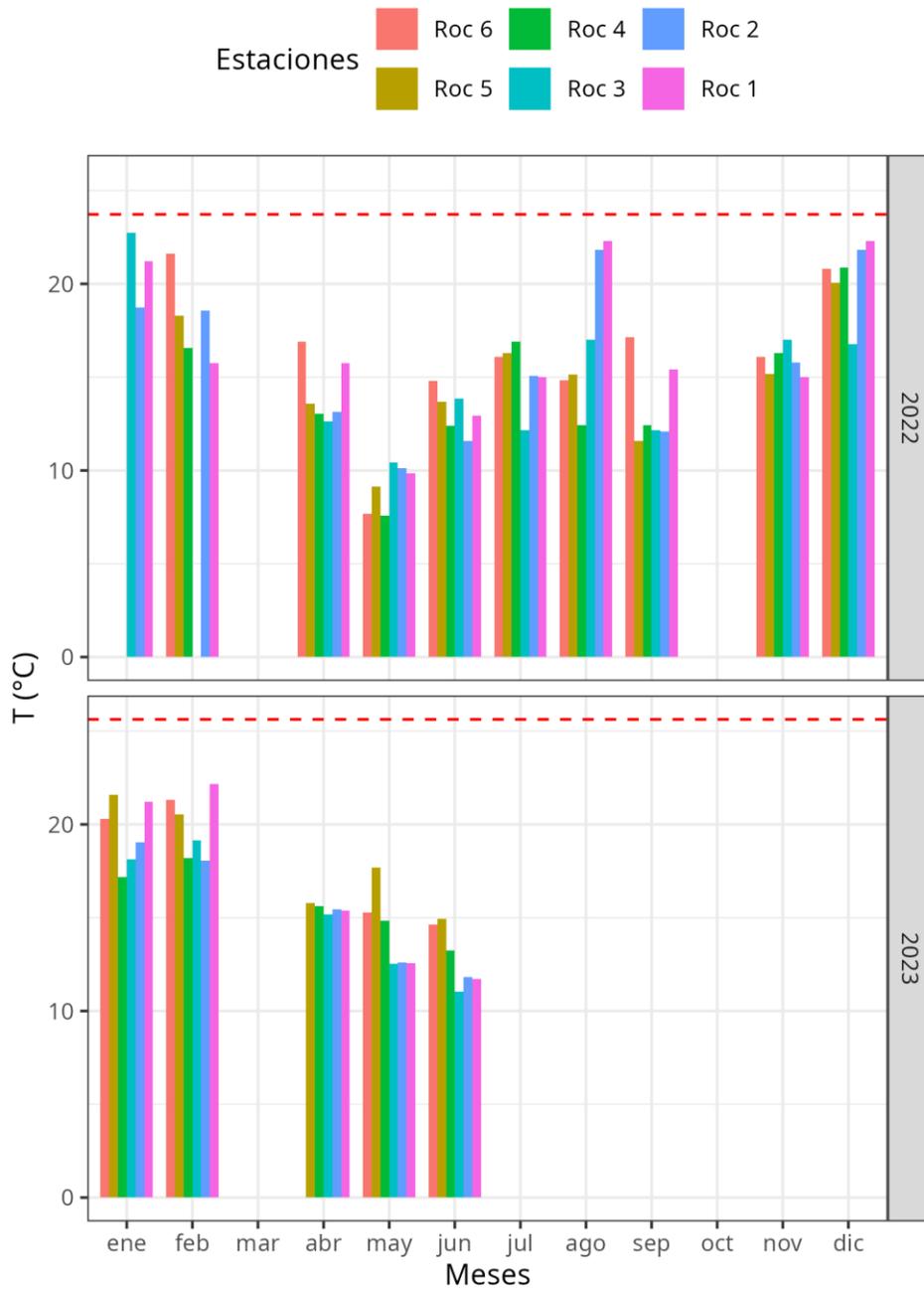
**Figura 102.** Valor de pH cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



**Figura 103.** Salinidad (Sal) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.

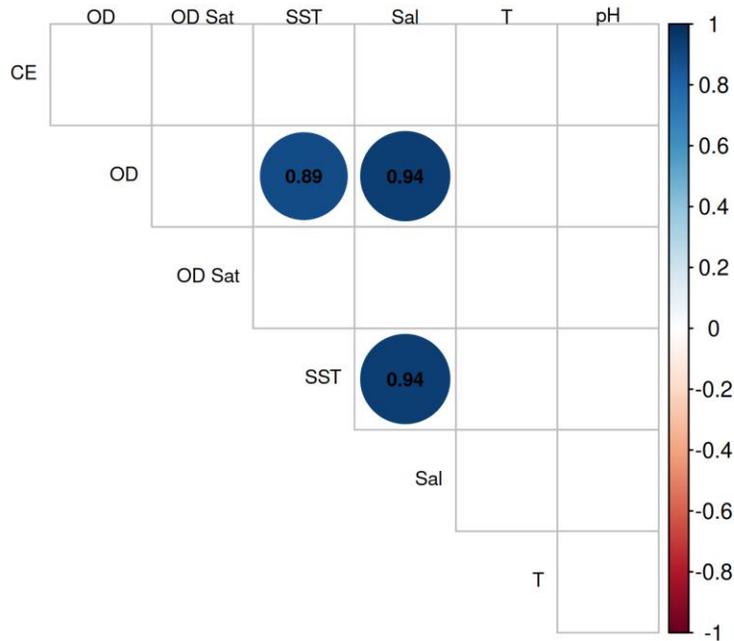


**Figura 104.** Concentración de Sólidos Suspendedos Totales (SST) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



**Figura 105.** Temperatura (T) medida en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2022 y 2023). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.

El análisis de correlaciones múltiples pareadas (**Figura 106**) revela que existen tres pares de parámetros físico-químicos que presentan correlaciones estadísticamente significativas positivas (círculos azules): sólidos suspendidos totales – oxígeno disuelto (0,89); salinidad – oxígeno disuelto (0,94); y sólidos suspendidos totales – salinidad (0,94). No se presentaron correlaciones negativas.

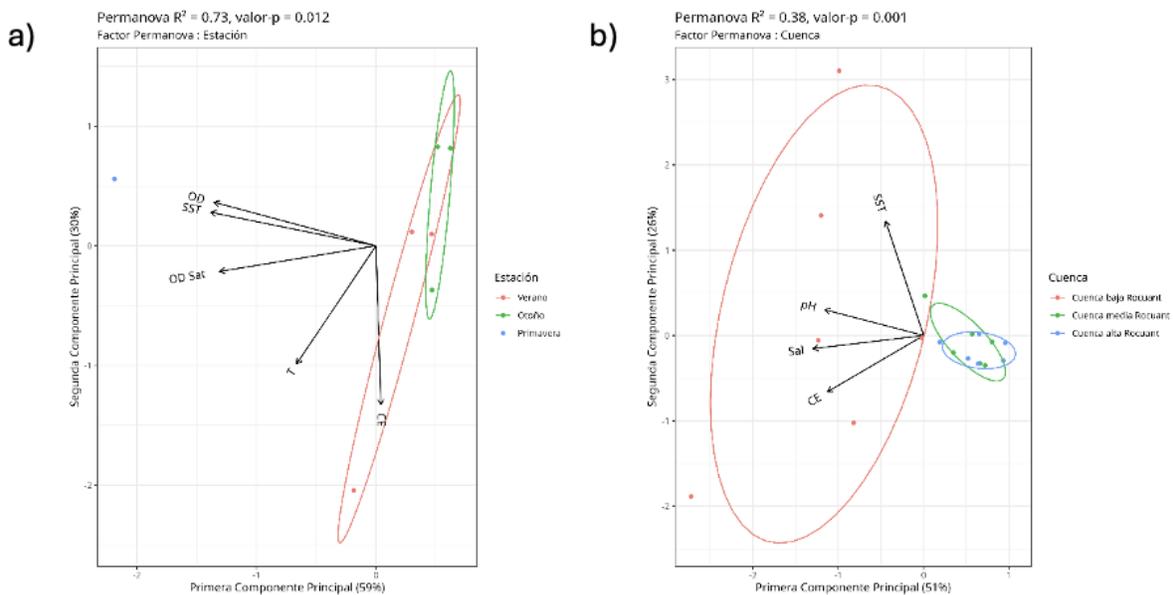


**Figura 106.** Correlograma para los parámetros medidos en la columna de agua que mostraron coeficientes de variación mayores a 0%. Se muestran solo las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. La escala de colores indica el sentido y nivel de correlación (coeficiente de correlación de Spearman dentro de cada círculo). Valores de correlación positivos están representados por tonos azules, mientras valores negativos están reportado en tonos rojos. Elaboración propia.

#### 4.7.1.3 Análisis multivariado

La **Figura 107** muestra el análisis de componentes principales (PCA) aplicado a los parámetros físicoquímicos de la columna de agua para identificar patrones y tendencias, donde las elipses representan un intervalo de confianza del 95% para los puntajes agrupados por: a) Estación climática, y b) Cuenca.

La **Figura 107a** presenta el PCA en el que se consideraron las estaciones del año como factor explicativo de la diferenciación entre parámetros ( $R^2 = 0,73$ ; valor- $p = 0,012$ ), revela que la primera componente principal (PC1) captura el 26% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) explica el 51%. En el gráfico se observa una diferencia entre las concentraciones registradas en invierno y verano, principalmente en el parámetro de conductividad eléctrica. La **Figura 107b** presenta el PCA en el que se consideraron las estaciones de monitoreo como factor explicativo ( $R^2 = 0,19$ ; valor- $p = 0,001$ ), revela que la primera componente principal (PC1) captura el 30% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) explica el 59%. Se observa una diferenciación marcada entre las zonas de la cuenca respecto a las concentraciones de parámetros, donde la cuenca baja de Rocuant se diferencia debido a sus altos niveles de sólidos suspendidos totales, pH, salinidad, y conductividad eléctrica.

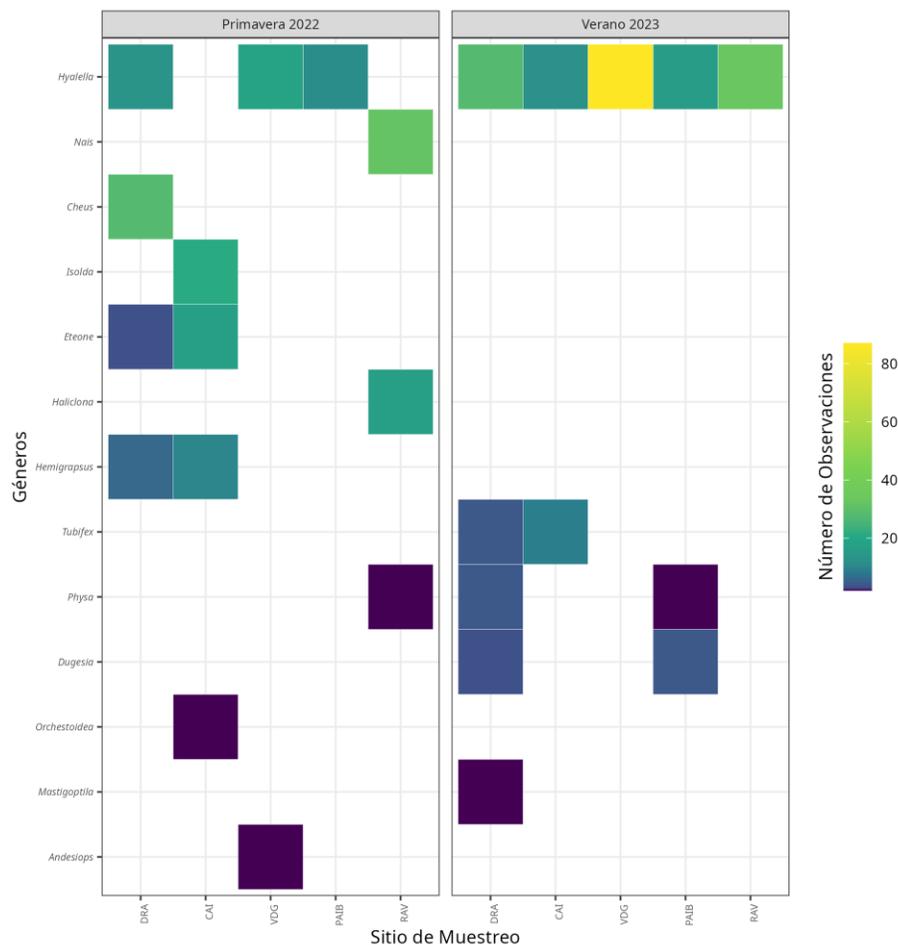


**Figura 107.** Análisis de componentes principales (PCA) para el total de los parámetros medidos. Las elipses representan el 95% de confianza para los puntajes agrupados por: a) Estación climática y b) Cuenca. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

## 4.7.2 Biota

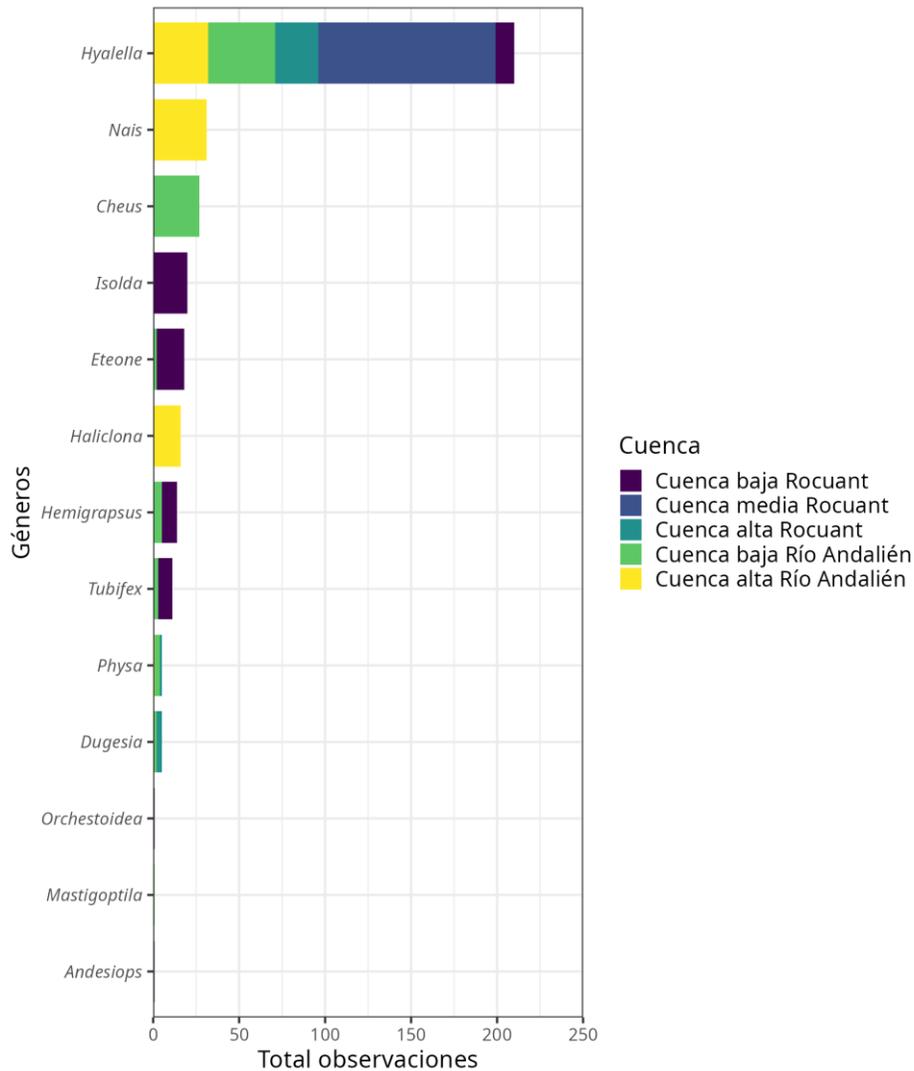
### 4.7.2.1 Macroinvertebrados bentónicos

Durante las dos campañas de monitoreo realizadas, se registraron un total de 360 individuos pertenecientes a 13 géneros, siendo los más abundantes *Hyalella*, con 210 registros, seguido de *Nais* (31 individuos) y *Cheus* (27 individuos). En términos temporales, la cantidad total de individuos fue similar en ambas campañas, con 168 individuos registrados en primavera de 2022 y 192 en verano de 2023. El mayor valor observado en la campaña de 2023 se debió principalmente a los individuos del género *Hyalella* (**Figura 108**). Se observa, además, que varios géneros registrados durante la campaña de 2022 no fueron observados en 2023 (e.g., *Nais*, *Cheus*, *Isolda*, *Eteone*, etc.). Asimismo, géneros como *Turbifex*, *Dugesia* y *Mastigoptila* fueron registrados únicamente durante la última campaña.



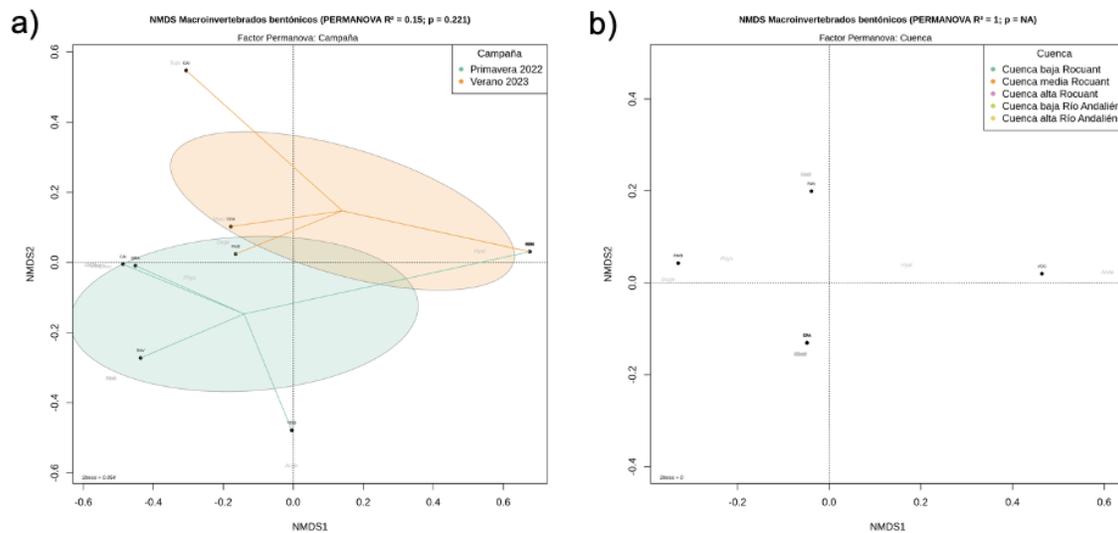
**Figura 108.** Número de observaciones (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de género de macroinvertebrados bentónicos por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia.

Desde una perspectiva espacial, se observa que *Hyalella* está ampliamente distribuida en todas las cuencas estudiadas, a diferencia de géneros como *Nais*, *Cheus* o *Isolda*, que solo fueron registrados en una cuenca particular (**Figura 109**). En términos generales, la cuenca media de Rocuant presentó la mayor abundancia total, seguida por las cuencas baja y alta del río Andalién.



**Figura 109.** Número de observaciones totales (Abundancia) de individuos reconocidos al nivel de género de la fauna macroinvertebrados bentónicos por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

Los análisis realizados para evaluar la estructura comunitaria de la fauna de macroinvertebrados bentónicos recolectada durante las campañas de monitoreo indican que no existe una composición diferencial en las especies ni a lo largo del tiempo (**Figura 110a**), ni en el espacio (**Figura 110b**). Aunque a nivel temporal se aprecia cierta diferenciación, esto se debe a géneros que fueron registrados en una única campaña; sin embargo, esta diferencia no es estadísticamente significativa. En cuanto a la dimensión espacial, si bien las estaciones correspondientes a las distintas cuencas se encuentran alejadas en el espacio multidimensional, al contar con solo un punto por cuenca, no es posible establecer comparaciones estadísticas.

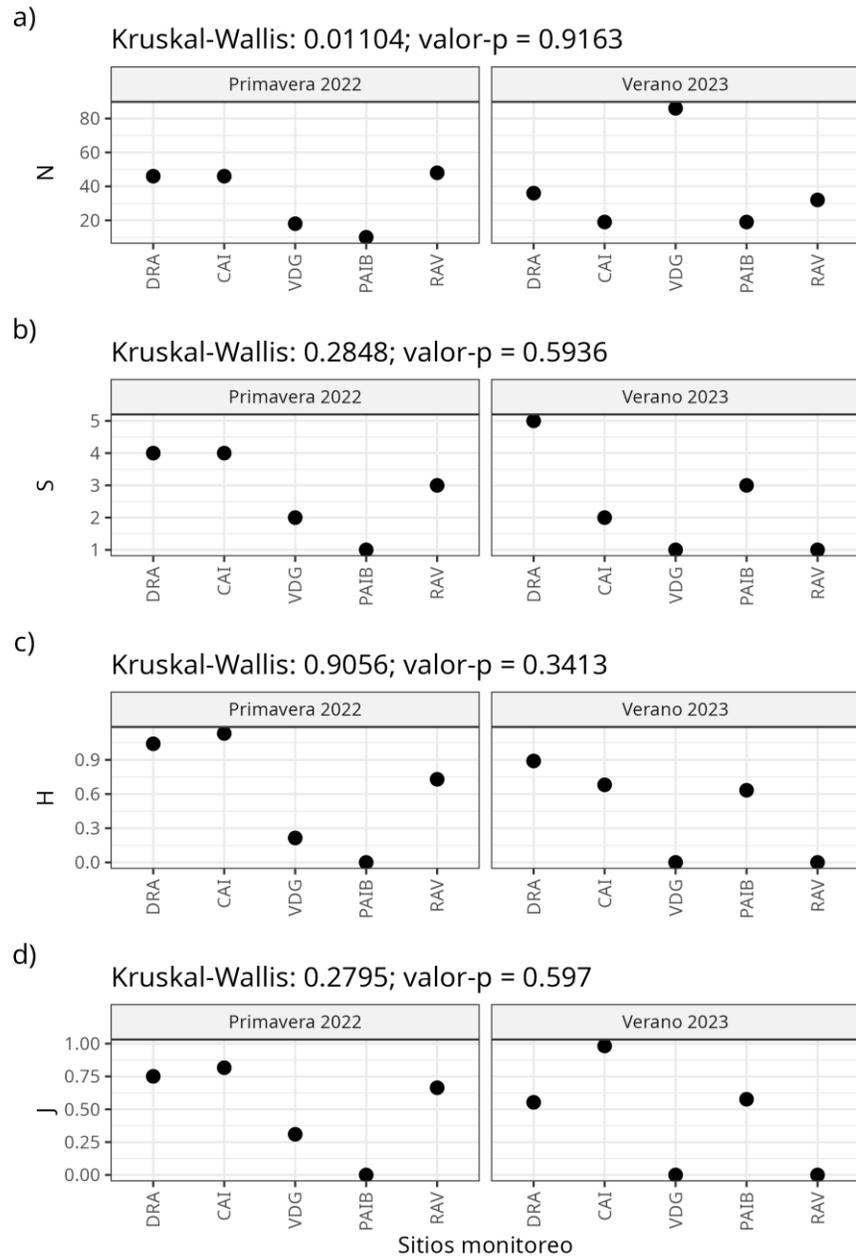


**Figura 110.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de los géneros. En a) puntajes agrupados por Campaña y en b) por Cuenca. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  se consideran estadísticamente significativos. Elaboración propia.

La comparación entre campañas de los índices comunitarios calculados indica que no se observaron diferencias estadísticas significativas en ninguno de ellos (**Figura 111**). En términos de abundancia (**Figura 111a**), el valor más alto se registró durante la campaña de verano de 2023 en la estación VDG, mientras que el valor más bajo correspondió a la estación de monitoreo PAIB

durante la campaña de primavera de 2022. En cuanto a la riqueza de géneros (**Figura 111b**), los mayores niveles se asociaron a la estación DRA, independientemente de la campaña de monitoreo, mientras que los valores más bajos se observaron en la estación PAIB durante la campaña de 2022, y en las estaciones VDG y RAV durante 2023. La diversidad de géneros fue mayor en las estaciones DRA y CAI en ambas campañas, siendo esta última la que presentó la mayor variación entre campañas. Al igual que con la riqueza de géneros, la diversidad (**Figura 111c**) fue menor en PAIB durante la campaña de 2022, y en las estaciones VDG y RAV durante 2023. Finalmente, la uniformidad (**Figura 111d**) fue mayor en la estación CAI durante ambas campañas, mientras que los menores valores se observaron en la estación PAIB durante la campaña de 2022, y en las estaciones VDG y RAV durante 2023.

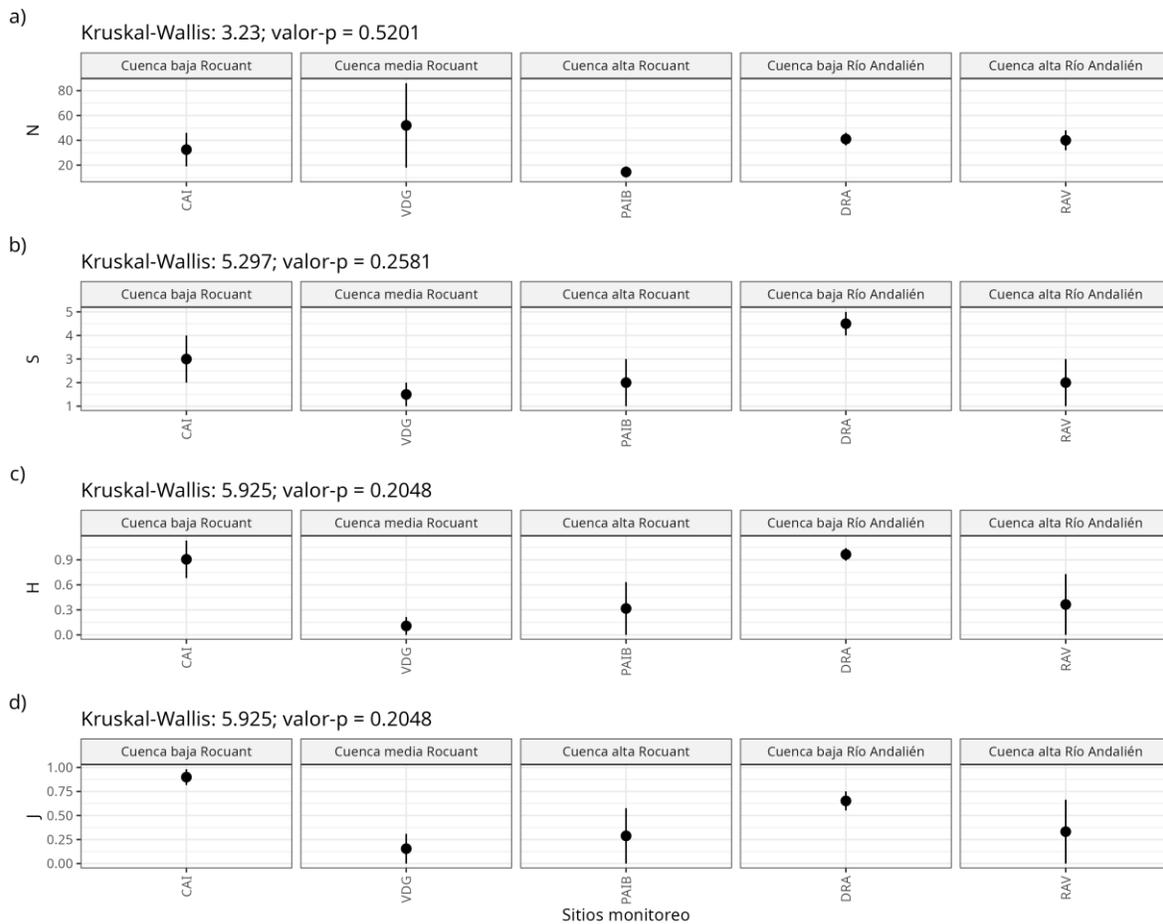
Factor: Campaña



**Figura 111.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Desde una perspectiva espacial, no se detectaron diferencias estadísticas en los índices comunitarios entre las distintas cuencas (**Figura 112**), lo que se explica por la limitada representatividad de puntos de monitoreo, ya que cada cuenca cuenta con una única estación de monitoreo. La mayor abundancia (**Figura 112a**) se registró en la cuenca media de Rocuant (estación VGD), que también presentó la mayor variación en este atributo. En contraste, los valores más bajos se observaron en la cuenca alta de Rocuant (estación PAIB). En cuanto a la riqueza de géneros (**Figura 112b**), esta fue más baja en la cuenca media de Rocuant y alcanzó su valor máximo en la cuenca baja del río Andalién (estación DRA). La diversidad (**Figura 112c**) mostró sus valores más elevados tanto en la cuenca baja de Rocuant como en la cuenca baja del río Andalién, mientras que los valores más bajos se encontraron en la cuenca media de Rocuant. Finalmente, la uniformidad o Uniformidad (**Figura 112d**) fue mayor en la cuenca baja de Rocuant y menor en su cuenca media.

Factor: Cuenca



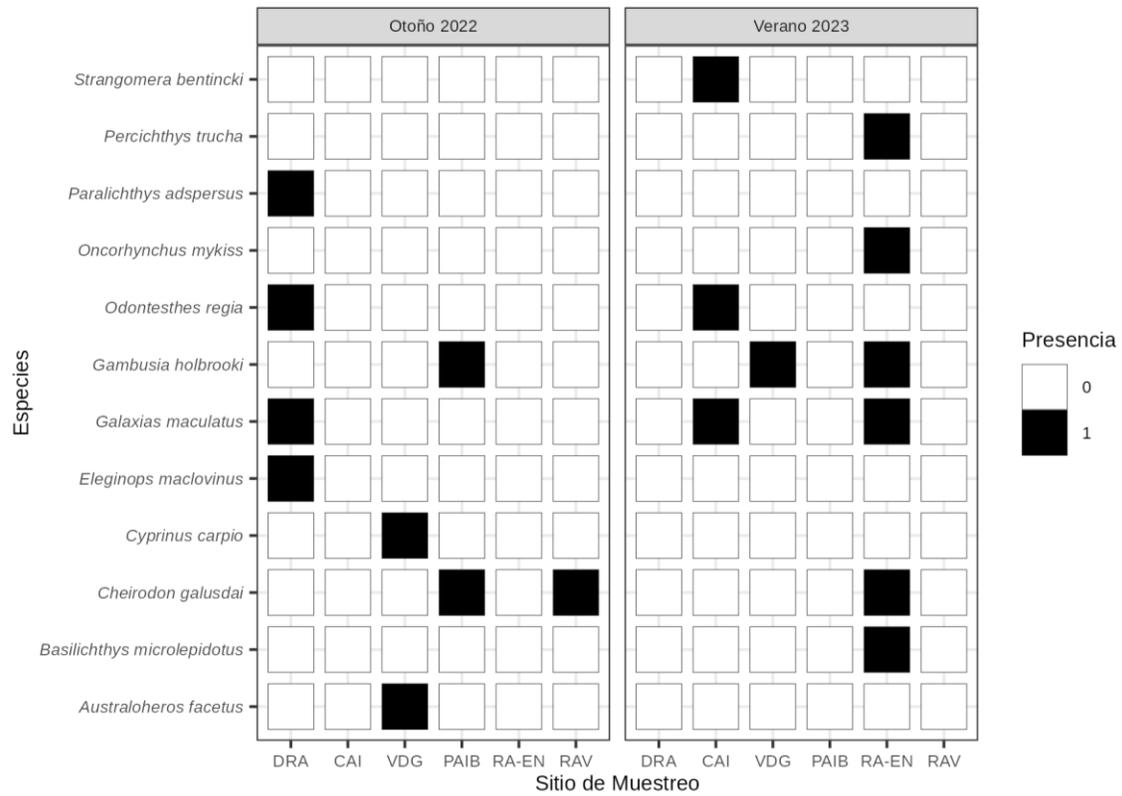
**Figura 112.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de géneros (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

#### 4.7.2.2 Ictiofauna

Respecto a la ictiofauna observada en el Humedal Rocuant-Andalién para las dos campañas de monitoreo de otoño 2022 y verano 2023, existe presencia de doce especies correspondientes a *Australoheros facetus*, *Basilichthys microlepidotus*, *Cheirodon galusdai*, *Cyprinus carpio*, *Eleginops maclovinus*, *Galaxias maculatus*, *Gambusia holbrooki*, *Odontesthes regia*, *Oncorhynchus mykiss*, *Paralichthys adspersus*, *Percichthys trucha*, y *Strangomera bentincki*.

El análisis de presencia de especies ícticas (**Figura 113**) evidencia una variabilidad en la composición de especies entre las campañas de monitoreo. A nivel temporal, ambas campañas presentaron la misma riqueza taxonómica (**Figura 113**), con ocho especies cada una, aunque difirieron en la composición de la estructura comunitaria. En otoño de 2022, las especies registradas fueron *Australoheros facetus*, *Cheirodon galusdai*, *Cyprinus carpio*, *Eleginops maclovinus*, *Galaxias maculatus*, *Gambusia holbrooki*, *Odontesthes regia*, y *Paralichthys adspersus*. Por otro lado, en verano de 2023, las especies observadas incluyeron *Basilichthys microlepidotus*, *Cheirodon galusdai*, *Galaxias maculatus*, *Gambusia holbrooki*, *Odontesthes regia*, *Oncorhynchus mykiss*, *Percichthys trucha*, y *Strangomera bentincki*.

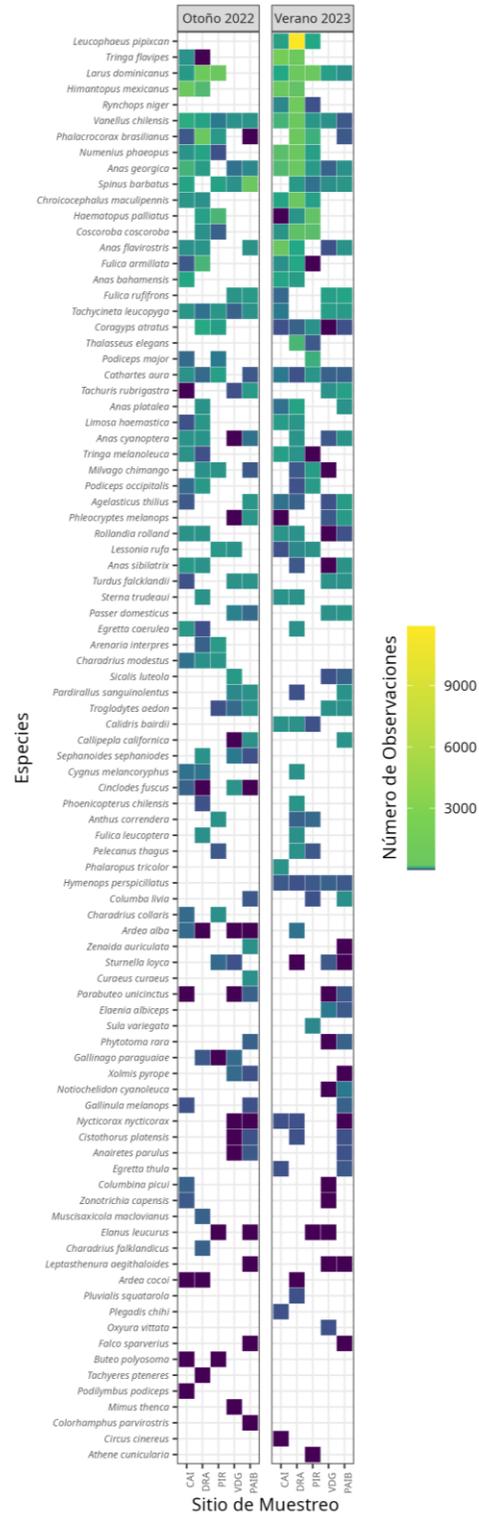
En cuanto a la distribución espacial, el sitio con mayor presencia de ictiofauna fue RA-EN (Confluencia río Andalién-Estero Nonguén), con una riqueza de seis especies durante la campaña de primavera de 2023. En segundo lugar, el sitio DRA (Desembocadura río Andalién) registró una riqueza de cuatro especies durante la campaña de invierno de 2022. El resto de los sitios mostraron una baja representación de especies en ambas campañas.



**Figura 113.** Presencia de especies de peces por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia.

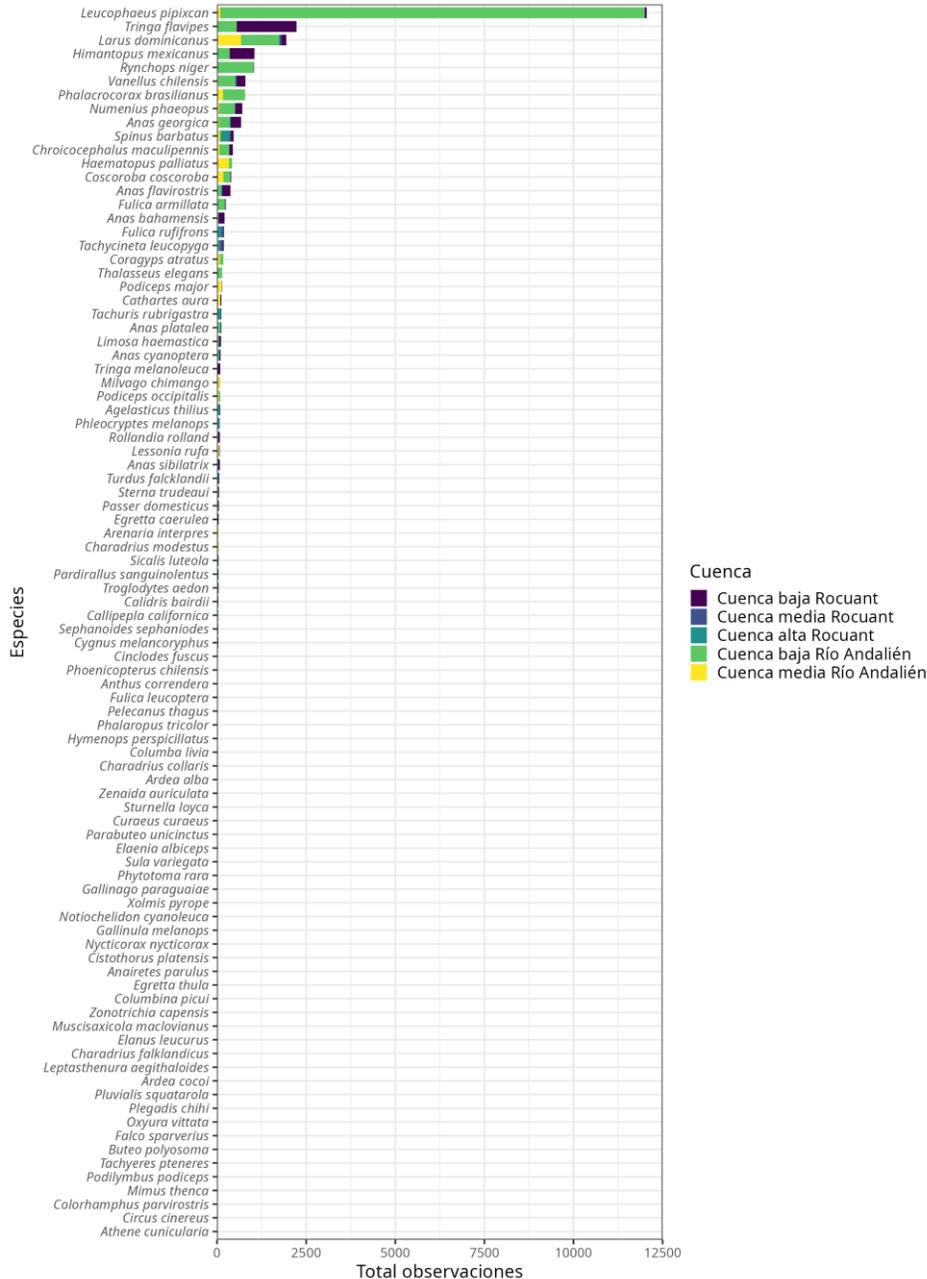
#### 4.7.2.3 Avifauna

Durante las dos campañas de monitoreo realizadas en este humedal (otoño de 2022 y verano de 2023), se identificaron individuos de 90 especies. *Leucophaeus pipixcan* fue, con diferencia, la especie más abundante, con un total de 12.060 individuos avistados, seguida por *Tringa flavipes* (2.233 individuos) y *Larus dominicanus* (1.942 individuos). En términos temporales, se observó una notable diferencia en las abundancias totales registradas entre ambas campañas. Mientras que en la campaña de otoño se contabilizaron 4,800 individuos, en la campaña de verano de 2023 se registraron 22.129 individuos. Esta marcada diferencia se explica principalmente por la alta abundancia de *Leucophaeus pipixcan* durante la última campaña (**Figura 114**).



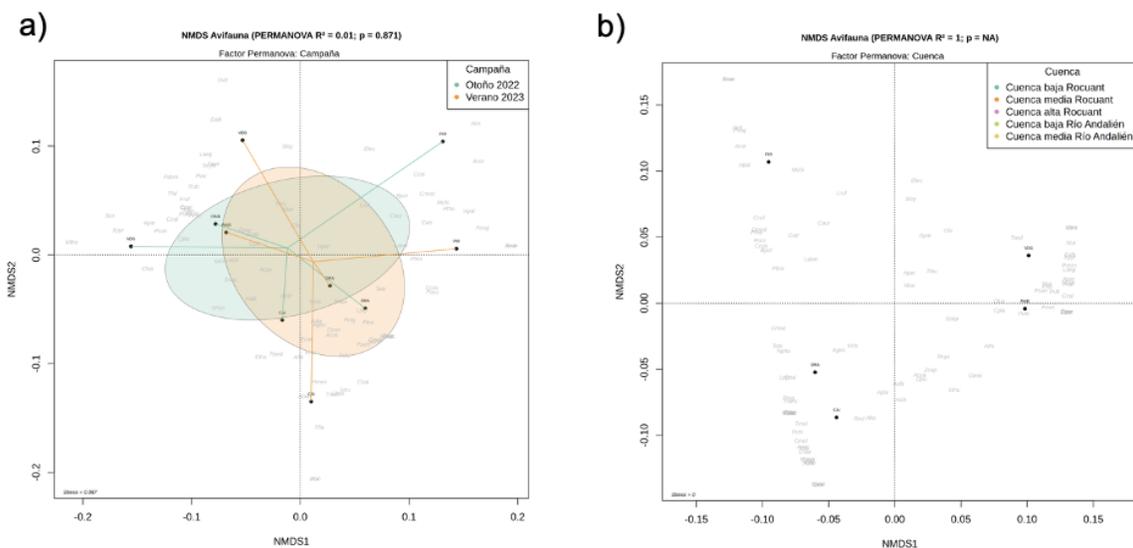
**Figura 114.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por sitio y campaña de monitoreo. Elaboración propia.

En cuanto a la distribución espacial, la cuenca baja del río Andalién (estación DRA), fue la zona con el mayor número de individuos para la mayoría de las especies registradas (**Figura 115**), salvo excepciones como la especie *Tringa flavipes*, que su mayor abundancia fue registrada en la cuenca baja de Rocuant.



**Figura 115.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de aves por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

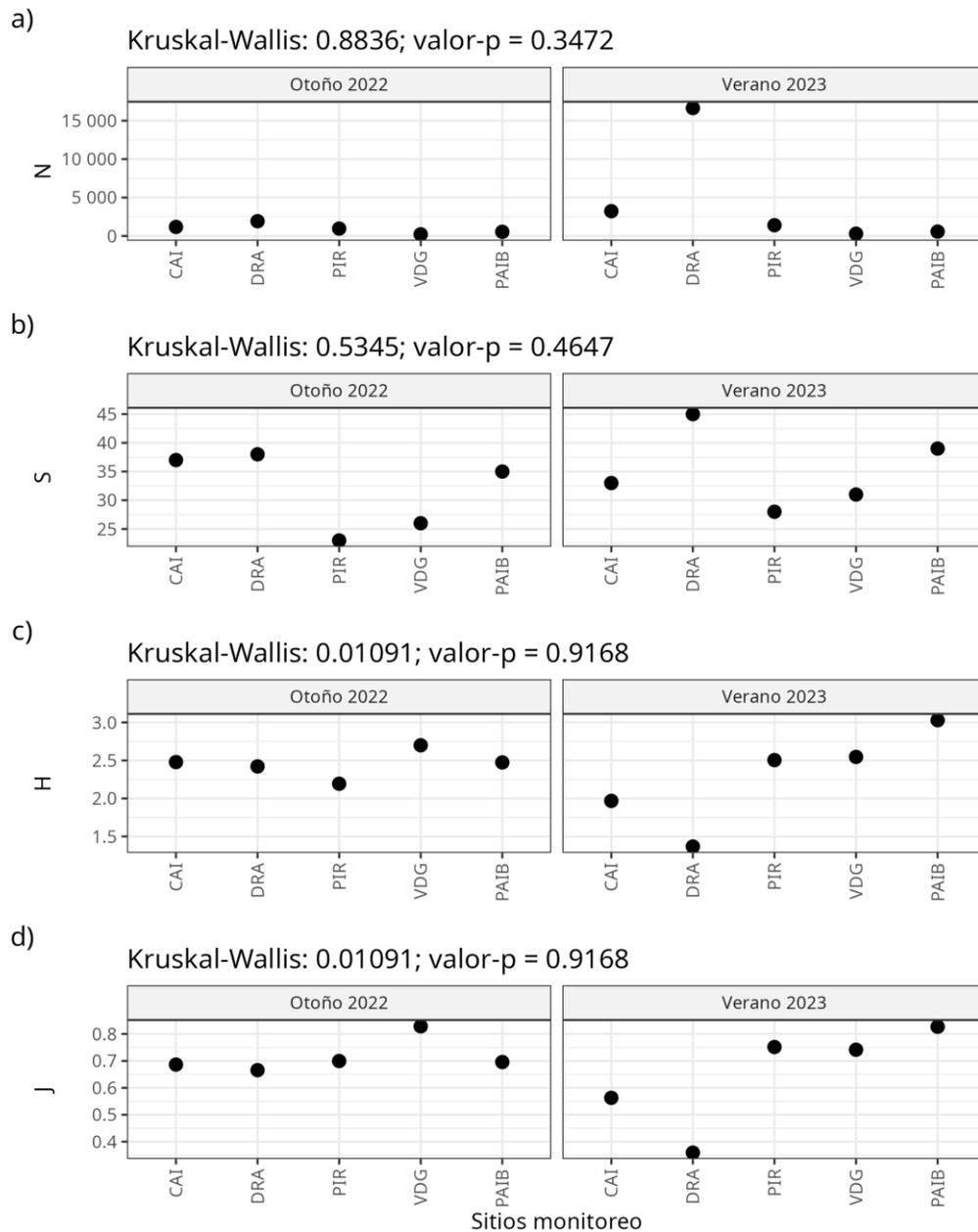
Los resultados del análisis de la estructura comunitaria indican que no se identificó una composición diferencial de especies de aves ni a lo largo del tiempo (es decir, entre campañas; **Figura 116a**), ni en el espacio (es decir, entre cuencas; **Figura 116b**). En cuanto a la dimensión espacial, la falta de diferencias se debe a que cada cuenca está representada por una única estación de monitoreo, lo que impide realizar contrastes estadísticos robustos. Sin embargo, es importante destacar que existen indicios de que ciertas estaciones tienden a agruparse en el espacio multidimensional, lo que sugiere una posible estructura comunitaria común entre ellas. Tal es el caso de las estaciones DRA y CAI, ubicadas en zonas más costeras, que parecen formar un grupo diferenciado. Del mismo modo, las estaciones VDG y PAIB podrían estar representando una comunidad distinta al resto de las estaciones. No obstante, estas tendencias no alcanzan significancia estadística debido al limitado número de estaciones por cuenca.



**Figura 116.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Campaña y en b) por Cuencas. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados como estadísticamente significativos. Elaboración propia.

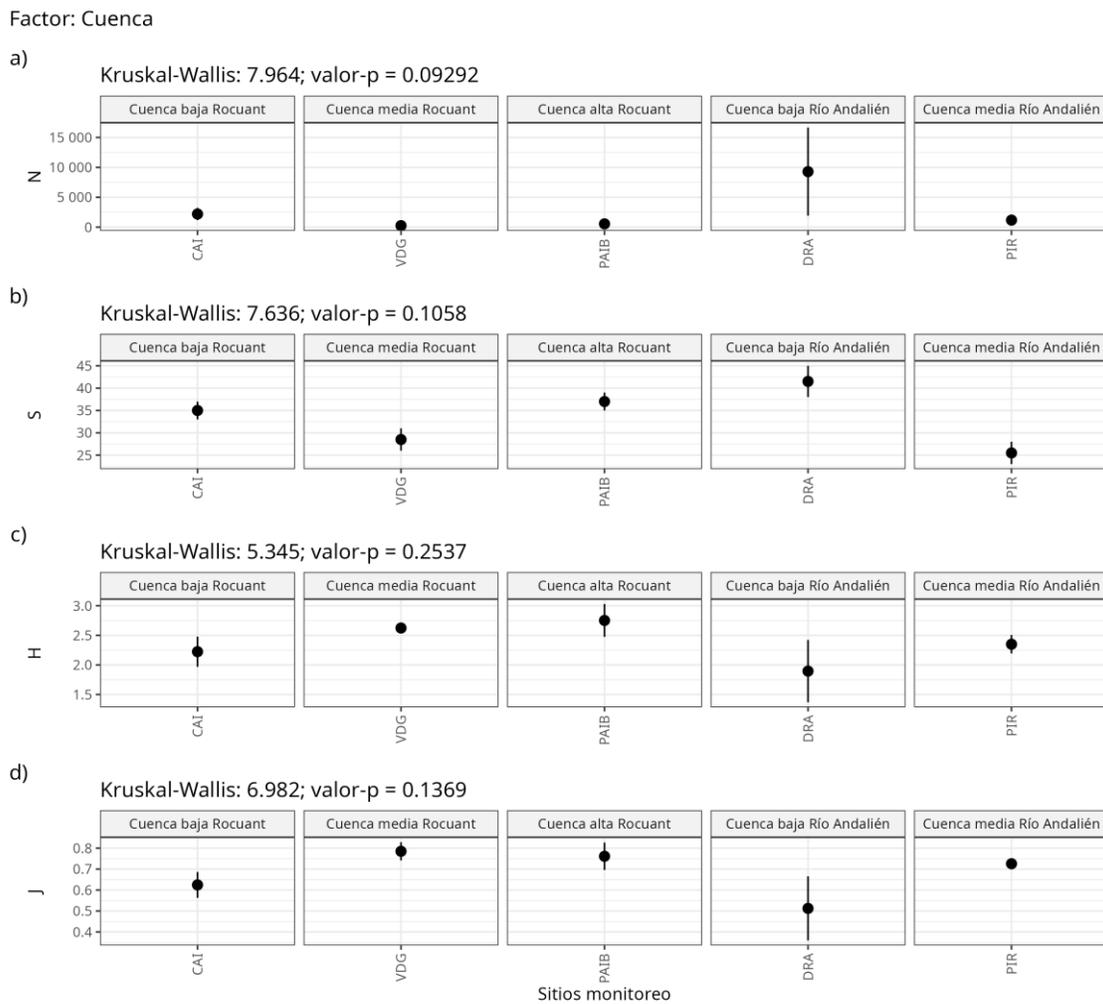
La comparación de los índices comunitarios entre campañas indica que no existen diferencias significativas entre las campañas de monitoreo efectuadas (**Figura 117**). Los valores de abundancia entre las campañas son similares, salvo por un caso extremo registrado en la campaña de verano de 2023 en la estación DRA, donde se contabilizaron más de 15 mil individuos (**Figura 117a**). En cuanto a la riqueza de especies, se observa un patrón similar entre campañas, con un incremento en la riqueza entre las estaciones PIR y PAIB, siendo la estación DRA la que exhibe los mayores niveles en ambas campañas (**Figura 117b**). Si bien los valores promedio de diversidad no difieren estadísticamente entre campañas, sus patrones sí varían. En la campaña de otoño de 2022, los niveles de diversidad se mantuvieron relativamente estables alrededor de 2,5 en todas las estaciones, mientras que en el verano de 2023 se observaron valores por debajo de 2 en las estaciones CAI y DRA, con un aumento posterior que alcanzó su nivel más alto en la estación PAIB (**Figura 117c**), patrón similar al observado para la uniformidad de especies (**Figura 117d**).

Factor: Campaña



**Figura 117.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por campaña de monitoreo y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las campañas. Valores  $p < 0,05$  son considerados como estadísticamente significativos. Elaboración propia.

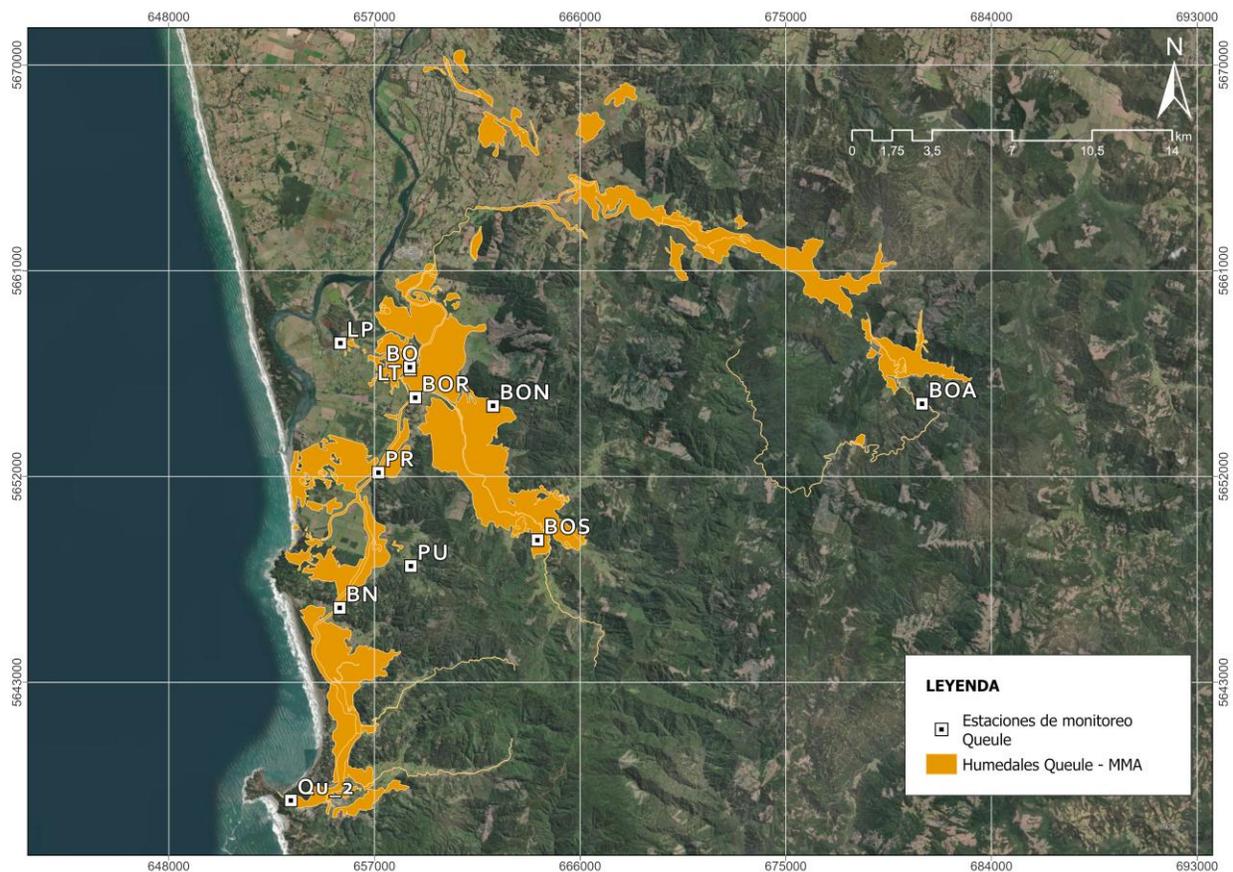
El análisis de los índices comunitarios mediante la agrupación de estaciones en cuencas tampoco proporciona evidencia estadística de diferencias significativas entre las distintas cuencas. Esto se debe, como se explicó anteriormente, a la falta de puntos de monitoreos suficientes por cuenca, lo que limita la capacidad para realizar contrastes estadísticos (**Figura 118**). No obstante, se puede observar que los mayores niveles de abundancia y riqueza de especies se registraron en la cuenca baja del río Andalién (estación DRA; **Figura 118a** y **118b**), mientras que los niveles más altos de diversidad y uniformidad se encontraron en las cuencas media y alta de Rocuant (**Figura 118c** y **118d**).



**Figura 118.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

#### 4.8 Humedal del Río Queule

La **Figura 119** muestra el diseño del programa de monitoreo del Humedal del río Queule, que incluye 11 estaciones destinadas a la evaluación de la calidad de agua y biota. Estas estaciones están distribuidas a lo largo de la cuenca del Río Queule (Qu\_2, BN, PR, PU), y abarcan sus dos principales tributarios, como el Río Boroa (BOR, BOS, BON), y el Río Boldo (BO, BOA), así como la Laguna Patagua (LP, sistema perteneciente a la cuenca del Río Toltén), proporcionando un monitoreo integral del sistema de humedales.



**Figura 119.** Estaciones de monitoreo ambiental del Humedal del Río Queule. Polígono extraído de “Plan de Gestión Integral para la cuenca del río Queule y sus humedales en la comuna de Toltén”, MMA-ONU Medio Ambiente. 2022. Coordenadas en UTM. Datum WGS84, Huso 18H. Elaboración propia.

#### 4.8.1 Calidad de agua parámetros *in situ*

##### 4.8.1.1 *Estadística descriptiva*

El análisis de la estadística descriptiva para los parámetros medidos en el humedal del Río Queule revela que ninguno de los parámetros presenta un coeficiente de variación igual a cero (**Tabla 14**). Entre los seis parámetros físico-químicos cuantificados, cuatro muestran coeficientes de variación superiores al 100%: conductividad eléctrica (CE) con un 345%, el oxígeno disuelto (OD) con un 184%, la saturación de oxígeno (OD\_Sat) con un 110%, y los sólidos suspendidos totales (SST) con un 358%. Estos resultados indican una alta dispersión de los valores de estos parámetros en relación con su media, reflejando una variabilidad significativa en las mediciones.

**Tabla 14.** Estadística descriptiva para parámetros físico-químicos medidos en columna de agua. Nobs: número de observaciones, min =mínimo, max =máximo, prom =promedio, desvest =desviación estándar, cv% =coeficiente de variación, Shapiro-Wilk = estadístico W de la prueba Shapiro-Wilk, valor-p = valor-p de la prueba Shapiro-Wilk. Elaboración propia.

<b>Sigla</b>	<b>Nobs</b>	<b>min</b>	<b>max</b>	<b>prom</b>	<b>desvest</b>	<b><sup>1</sup>cv%</b>	<b>shapiro-wilk</b>	<b><sup>2</sup>valor-p</b>
CE	235	9.05	48350	2249.12	7766.6	<b>345%</b>	0,318	0,000
OD	223	0	86	5.2	9.58	<b>184%</b>	0,424	0,000
OD Sat	215	0	175	34.27	37.69	<b>110%</b>	0,823	0,000
pH	235	5.85	23.01	7.39	1.21	16%	0,469	0,000
SST	218	0,02	24170	1015.79	3634.05	<b>358%</b>	0,307	0,000
T	235	2.23	25.46	14.68	4.73	32%	0,975	0,000

<sup>1</sup> Se destacan en negrita los valores de coeficientes de variación mayores o iguales al 100%.

<sup>2</sup> Se destacan en negrita los valores de *p* del test Shapiro-Wilk mayores o iguales a 0,05.

##### 4.8.1.2 *Análisis por sitio de monitoreo*

La conductividad eléctrica (**Figura 120**) muestra una variación a nivel temporal y espacial, sin embargo, la tendencia de los datos medidos muestra que el sitio de monitoreo Qu\_2, localizado en la parte baja de la cuenca (desembocadura del río Queule), presenta los mayores niveles de conductividad a lo largo del tiempo (2022, 2023 y 2024), presentando un valor máximo en la campaña de abril de 2023, con un registro de 48350 uS/cm. Particularmente, en la campaña de 2021, los mayores niveles se registraron en el sitio BOR (Río Boroa, parte alta de la cuenca), alcanzado los 30990 uS/cm.

El oxígeno disuelto (**Figura 121**) mostró una tendencia consistente en los valores medidos durante los años 2022, 2023 y 2024, con concentraciones similares entre los distintos sitios de monitoreo. No obstante, el año 2021 se destacó por concentraciones elevadas de oxígeno en los sitios Qu\_2, BN y PR, durante la campaña de noviembre. En esta ocasión, los valores superaron los 73,3mg/l, excediendo el umbral que indica la detección de valores atípicos (indicado por la línea punteada roja).

Se destaca que la detección de valores atípicos fue realizada utilizando el método del percentil, donde se definió un rango esperado basado en el rango intercuartílico (IQR), por lo que los valores que se encuentren fuera del rango delimitado son considerados atípicos. Estos datos anómalos pueden estar relacionados con incertidumbres derivadas de los métodos de monitoreo, lo que puede generar datos que distorsionan los resultados reales del análisis.

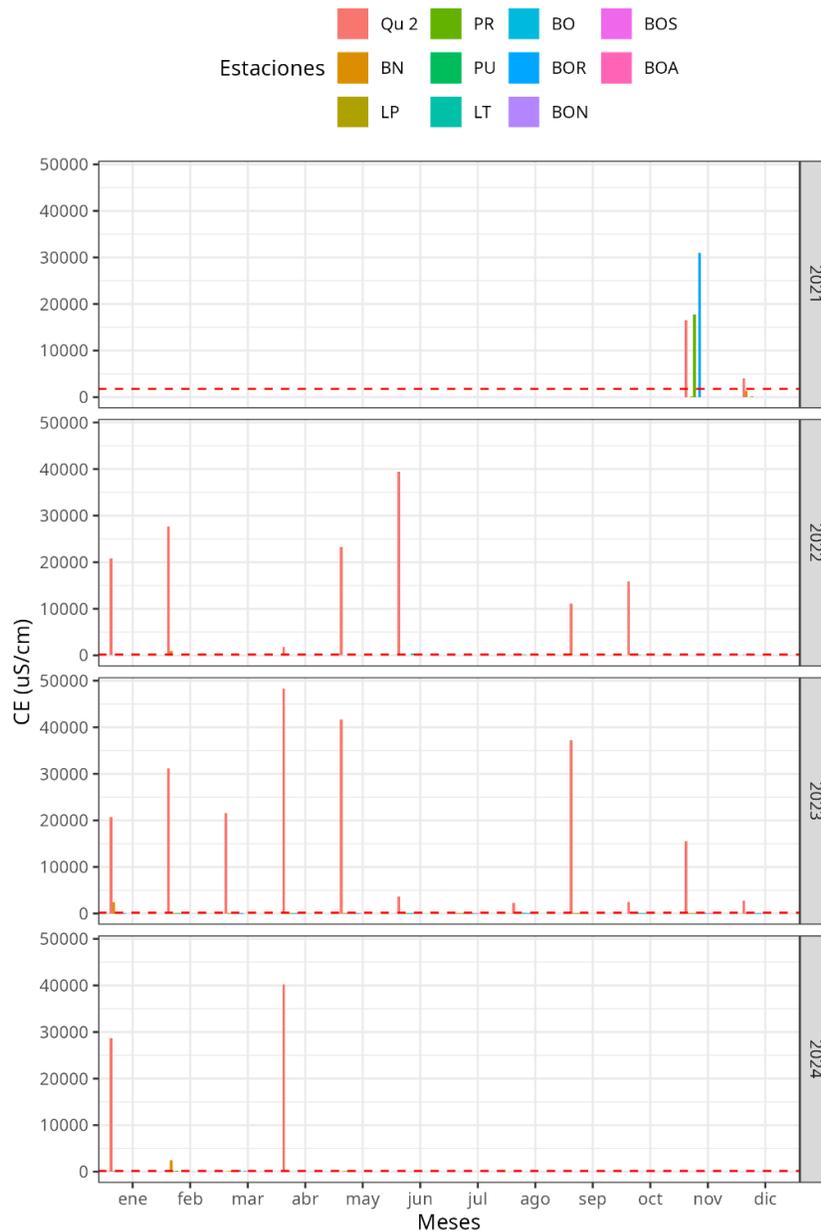
Por su parte, la saturación de oxígeno (**Figura 122**) presentó variaciones a lo largo del tiempo y los sitios de monitoreo. De forma general, los mejores niveles de saturación de oxígeno se presentaron en las campañas de monitoreo de invierno, particularmente en los meses de agosto y septiembre para 2022 y 2023. En contraparte, los mayores niveles se presentaron en el sitio Qu\_2 (desembocadura del río Queule), en las campañas de enero de 2022, enero de 2023, y febrero de 2024, alcanzando un valor máximo de 175%, lo que se encuentra por sobre la línea roja que indica la detección de valores atípicos.

El pH (**Figura 123**) mostró una tendencia estable tanto temporal como espacialmente, con valores oscilando entre 5,85 y 9,48. Sin embargo, se identificó un registro que supera el umbral de valores atípicos en el sitio de monitoreo BO (cuenca del río Boldo) durante la campaña de enero de 2024, con una medición de 23,01.

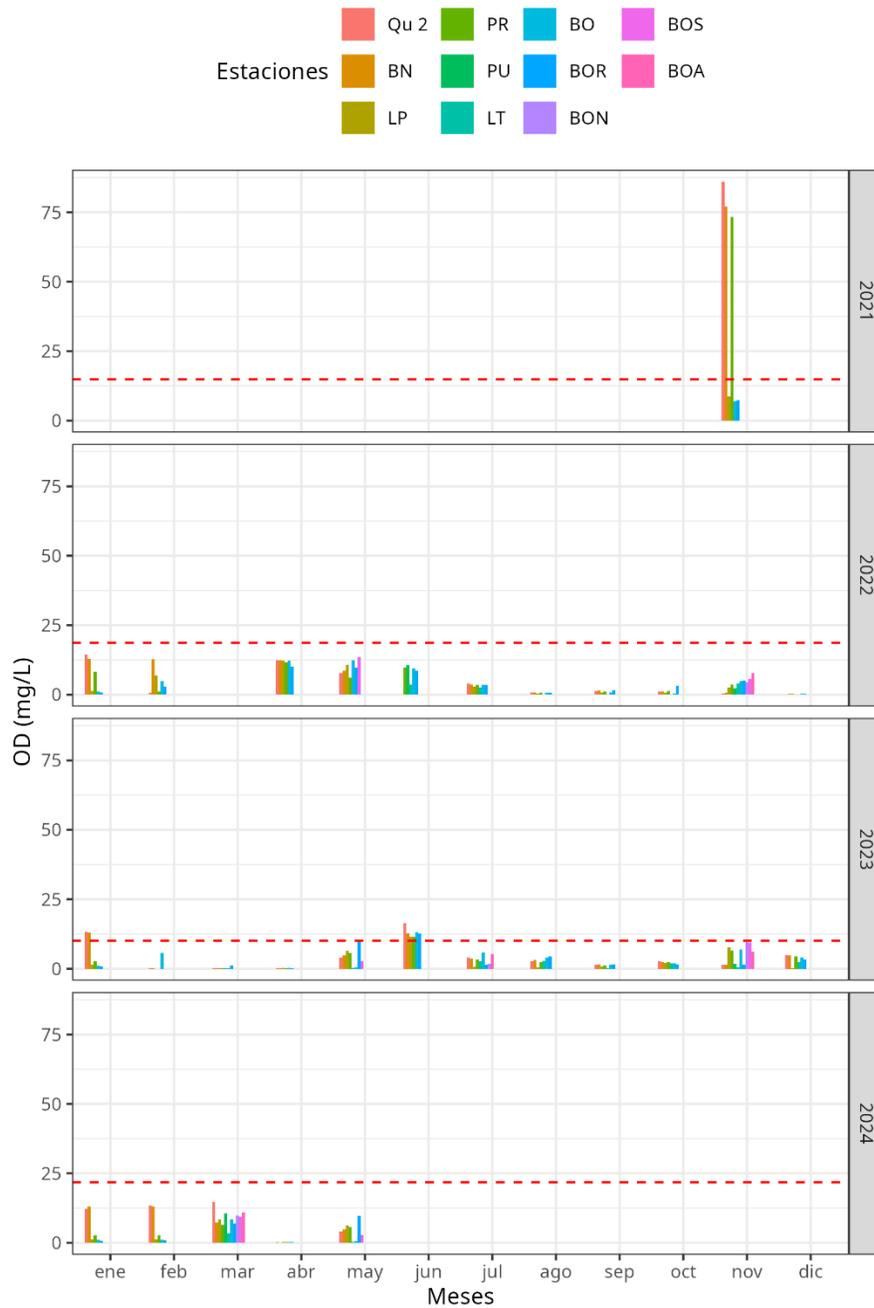
Los sólidos suspendidos totales (**Figura 124**) mostraron variaciones significativas en sus concentraciones a nivel espacial y temporal. Destaca el sitio Qu\_2 (desembocadura del río Queule) al presentar las mayores concentraciones de sólidos suspendidos en todos los periodos evaluados (2021 a 2014), alcanzando un máximo de 24170mg/l en la campaña de abril de 2023.

Finalmente, la temperatura (**Figura 117**) mostró variabilidad tanto espacial como temporal, con una tendencia a disminuir durante los meses de invierno y aumentar durante los meses de verano, patrón claramente estacional. En términos generales, los menores niveles se presentaron en el

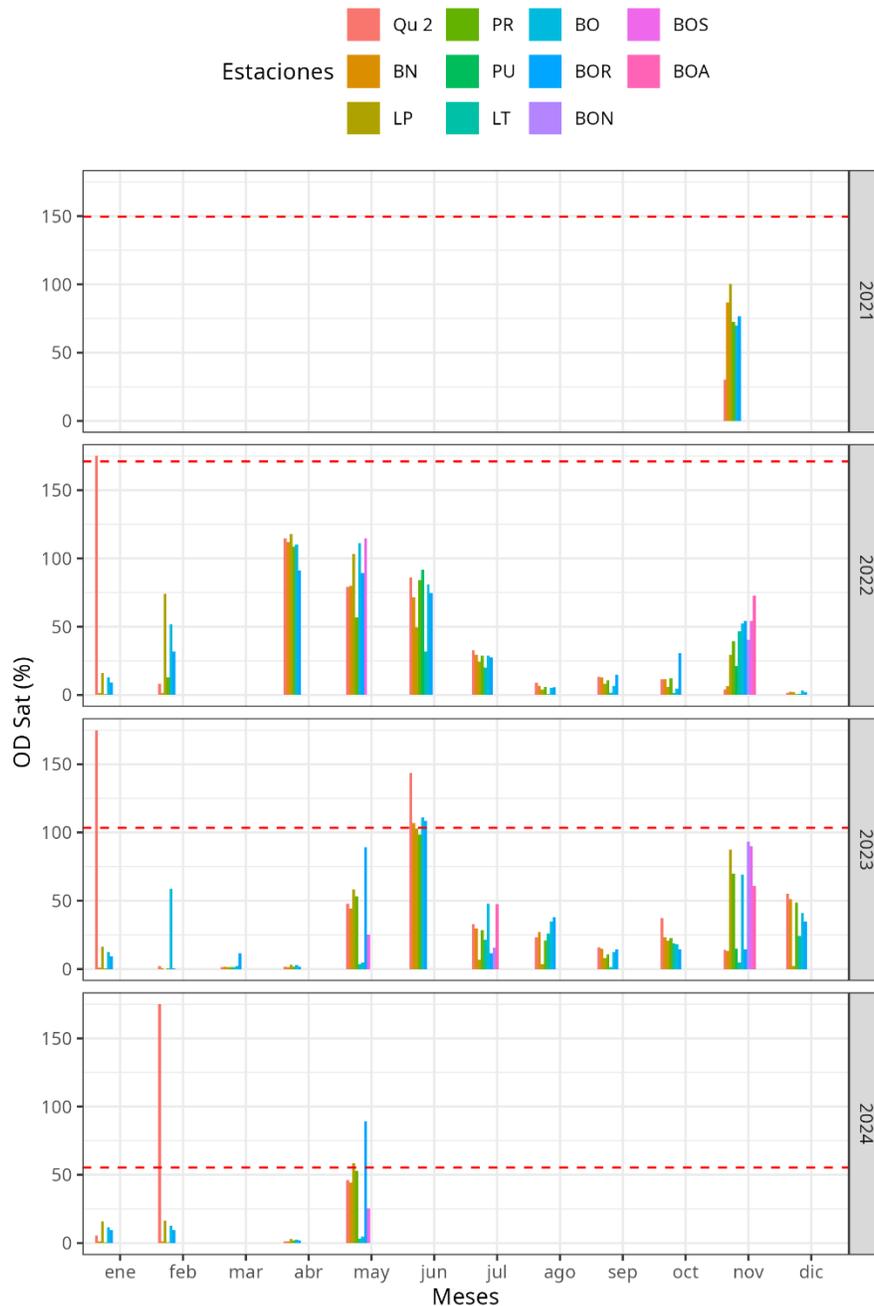
mes de julio (año 2022 y 2023) en todos los sitios de monitoreo. Por otro lado, los meses de enero y diciembre (2021 a 2014), en términos generales, presentaron las temperaturas más altas, donde particularmente el sitio LP (Laguna Patagua, sistema lacustre independiente) registró la mayor temperatura con 25,46°C registrado en enero de 2022.



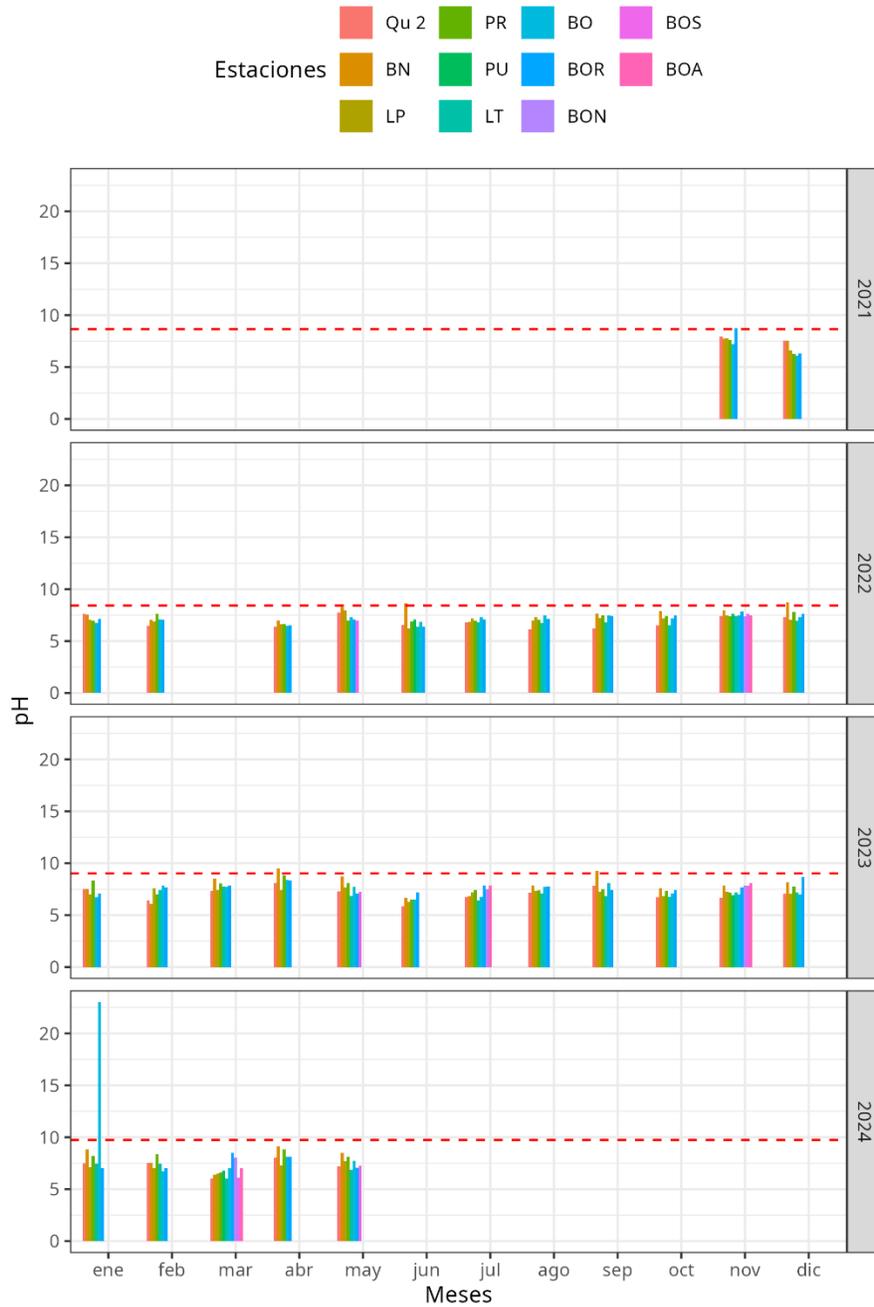
**Figura 120.** Conductividad Eléctrica (CE) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



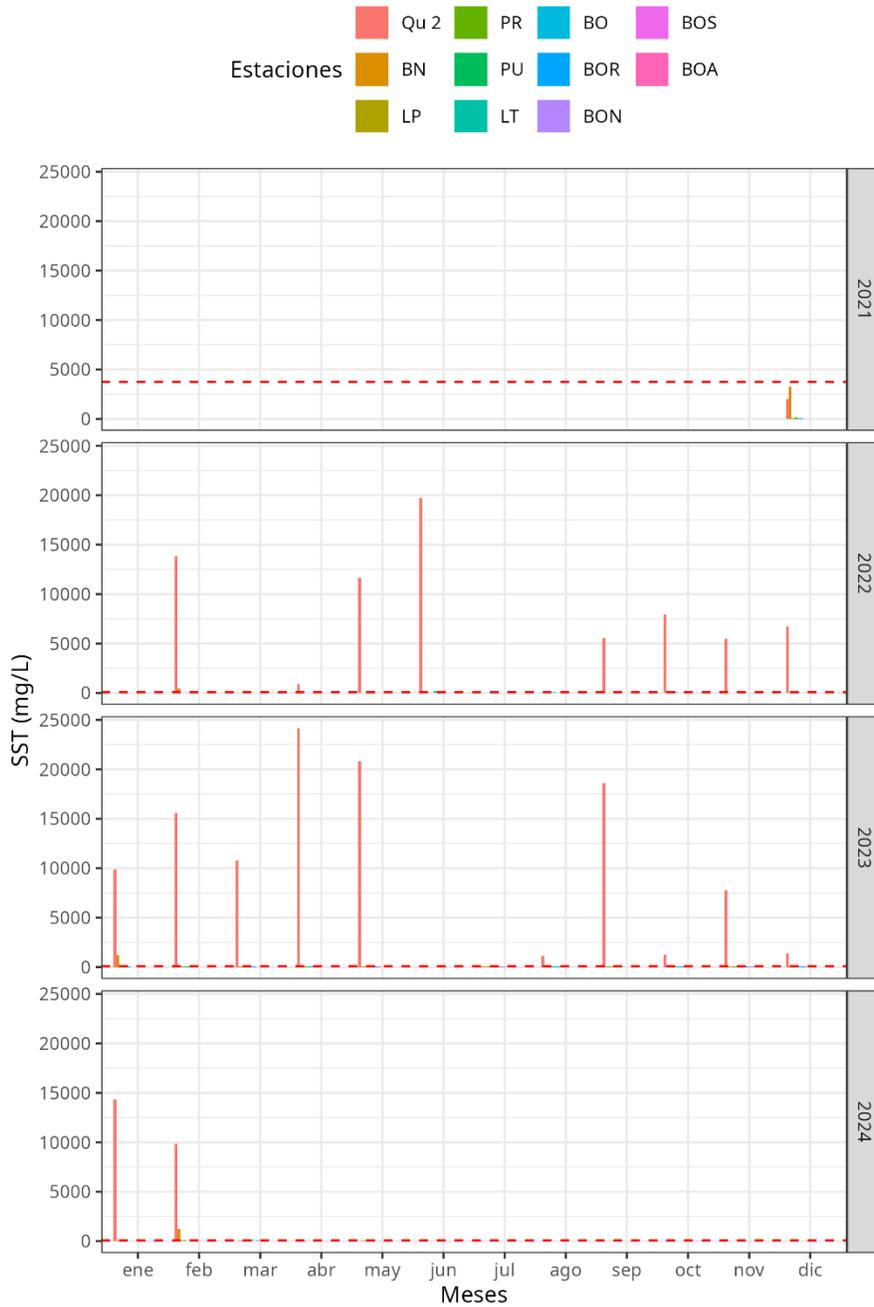
**Figura 121.** Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



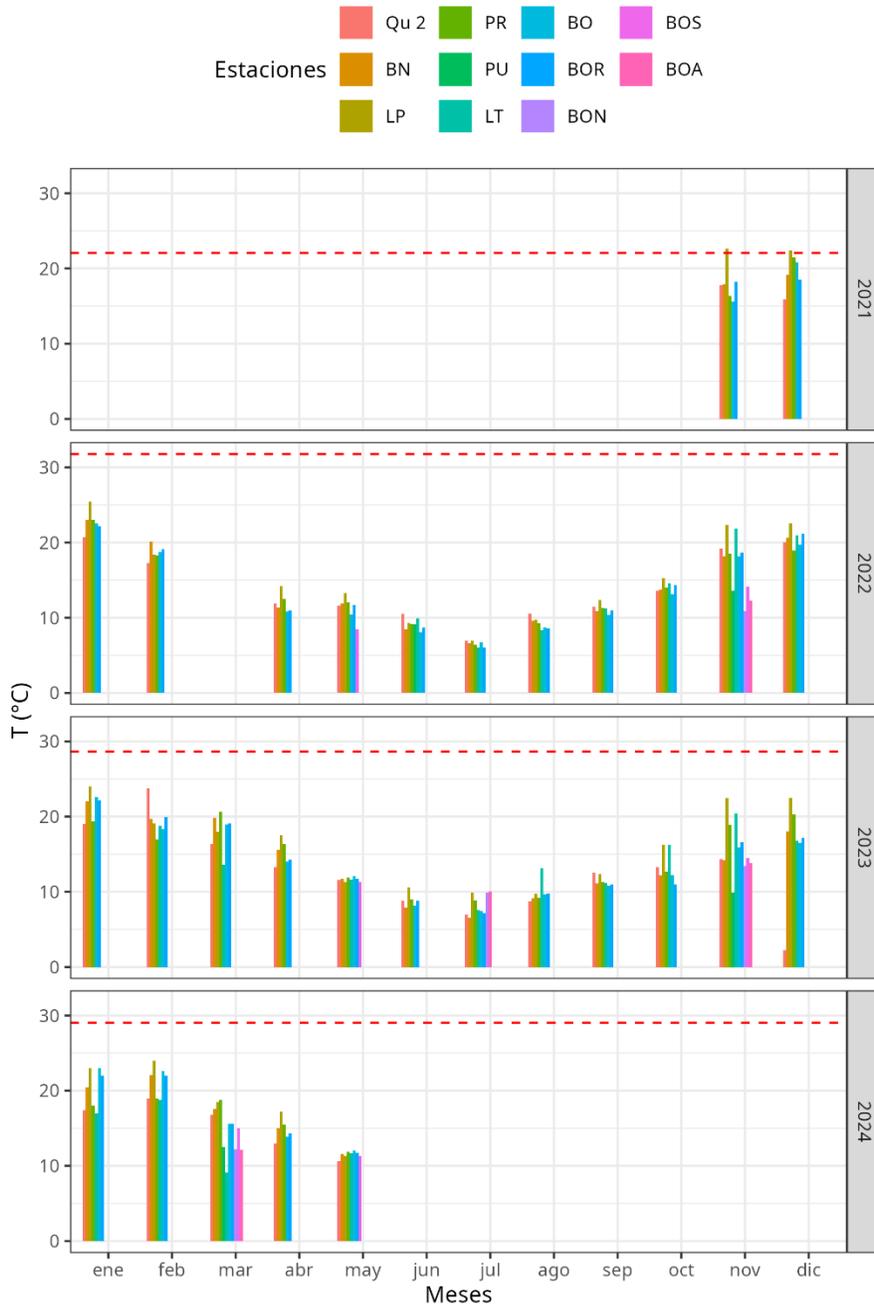
**Figura 122.** Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD Sat) cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



**Figura 123.** Valor de pH cuantificado para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.

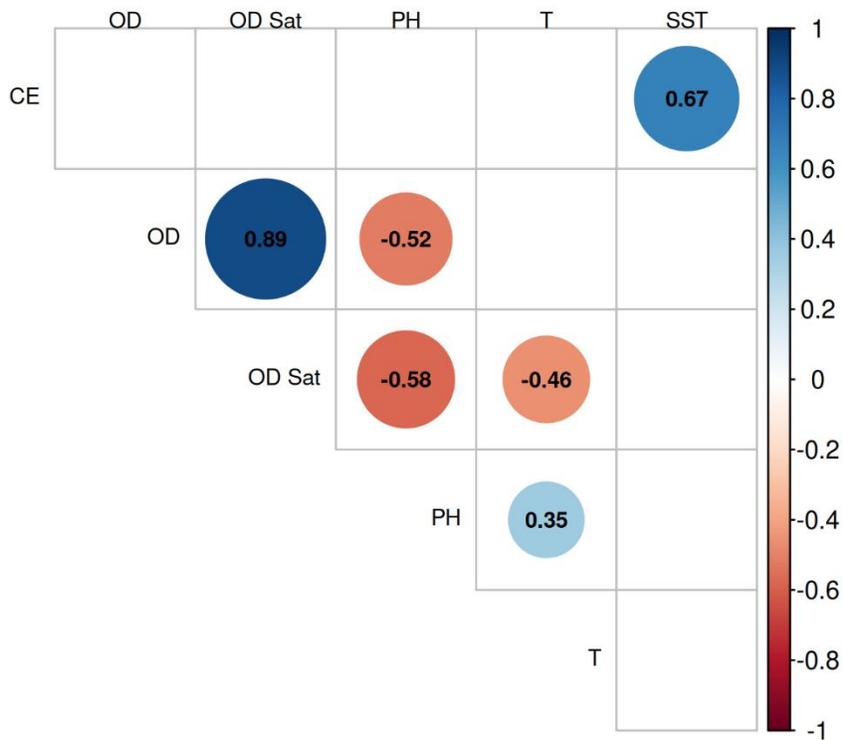


**Figura 124.** Concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) cuantificada para la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.



**Figura 125.** Temperatura (T) medida en la columna de agua a través de las estaciones de monitoreo, en donde cada color representa a una estación en particular. Las mediciones están agrupadas por meses y años de monitoreo (2021 al 2024). La línea punteada roja indica el límite superior para la detección de puntos atípicos para un año en particular. Elaboración propia.

El análisis de correlaciones múltiples pareadas (**Figura 126**) revela que existen tres pares de parámetros físico-químicos que presentan correlaciones estadísticamente significativas positivas (círculos azules): saturación de oxígeno – oxígeno disuelto (0,89); sólidos disueltos totales – conductividad (0,67); y pH – temperatura (0,35). Asimismo, se presentaron tres pares de parámetros físico-químicos que presentan correlaciones estadísticamente significativas que son negativas (círculos rojos): pH- oxígeno disuelto (-0,52); pH - saturación de oxígeno (-0,58); y temperatura - saturación de oxígeno (-0,46).



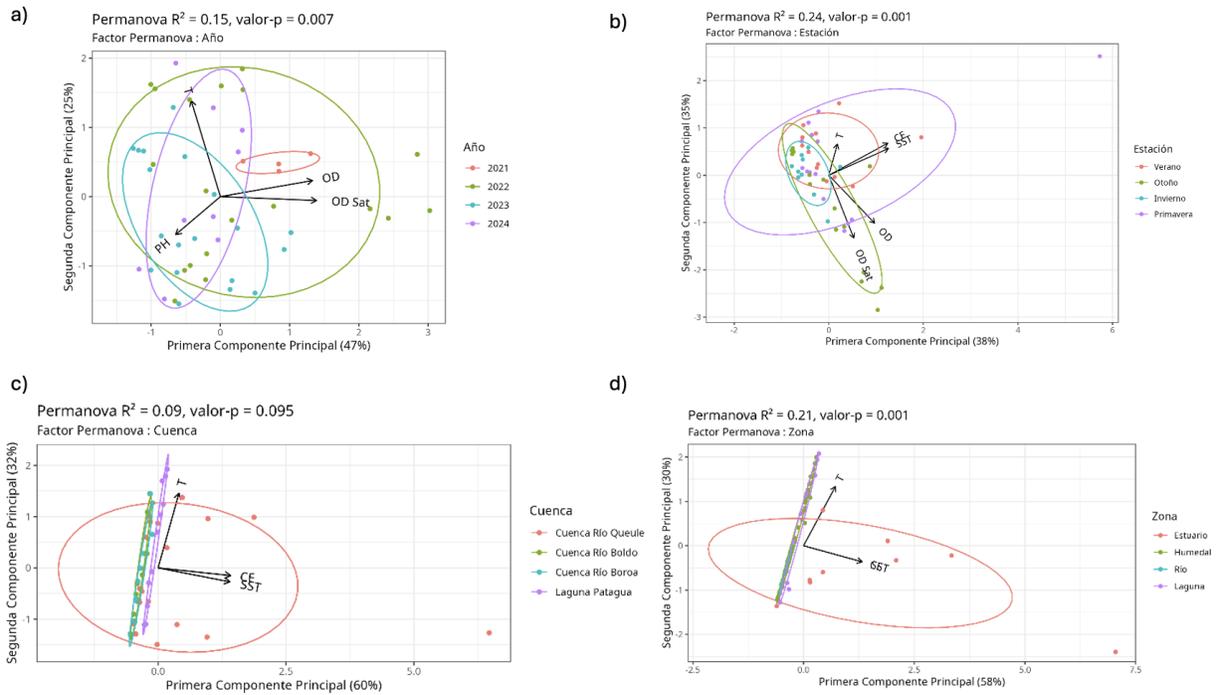
**Figura 126.** Correlograma para los parámetros medidos en la columna de agua que mostraron coeficientes de variación mayores a 0%. Se muestran solo las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. La escala de colores indica el sentido y nivel de correlación (coeficiente de correlación de Spearman dentro de cada círculo). Valores de correlación positivos están representados por tonos azules, mientras valores negativos están reportado en tonos rojos. Elaboración propia.

#### 4.8.1.3 Análisis multivariado

La **Figura 127** muestra el análisis de componentes principales (PCA) aplicado a los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua para identificar patrones y tendencias, donde las elipses representan un intervalo de confianza del 95% para los puntajes agrupados por: a) Año, b) Estación climática, c) Cuenca, y d) Zona.

La **Figura 127a** presenta el PCA en el que se consideraron las estaciones del año como factor explicativo de la diferenciación entre parámetros ( $R^2 = 0,15$ ; valor- $p = 0,007$ ), revela que la primera componente principal (PC1) captura el 25% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) explica el 47%. El gráfico revela que existe cierta diferenciación entre los años de monitoreo respecto a la concentración de parámetros cuantificados, donde el año 2021 se caracterizó principalmente por los mayores niveles de oxígeno disuelto, el año 2023 por los mayores niveles de pH, mientras que el año 2024 se diferenció por los mayores niveles de temperatura y pH. La **figura 127b** presenta el PCA en el que se consideraron las estaciones de monitoreo como factor explicativo ( $R^2 = 0,24$ ; valor- $p = 0,001$ ), donde la primera componente principal (PC1) captura el 35% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) explica el 38%, y revela que solo la estación de otoño se diferencia del resto al presentar mayores niveles de saturación de oxígeno.

La **Figura 127c** presenta el PCA en el que se consideraron las estaciones de monitoreo como factor explicativo ( $R^2 = 0,09$ ; valor- $p = 0,095$ ), revela que la primera componente principal (PC1) captura el 32% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) explica el 60%, y muestra una diferenciación entre los distintos tributarios del humedal de Queule, donde la cuenca del río Queule se diferencia de la cuenca del río Boldo, la cuenca del río Boroa y del sistema independiente Laguna Patagua (LP), al presentar mayores niveles de conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales. Finalmente, la **Figura 127d** presenta el PCA en el que se consideraron las estaciones de monitoreo como factor explicativo ( $R^2 = 0,21$ ; valor- $p = 0,001$ ), revela que la primera componente principal (PC1) captura el 30% de la variabilidad total de los datos, mientras que la segunda componente (PC2) explica el 58%. Este gráfico revela que la zona estuarina se diferencia del resto de los hábitats de laguna, río y humedal, debido a sus mayores niveles de conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales, tendencia que se refleja igualmente en el análisis de las zonas de cuenca (**Figura 127c**).

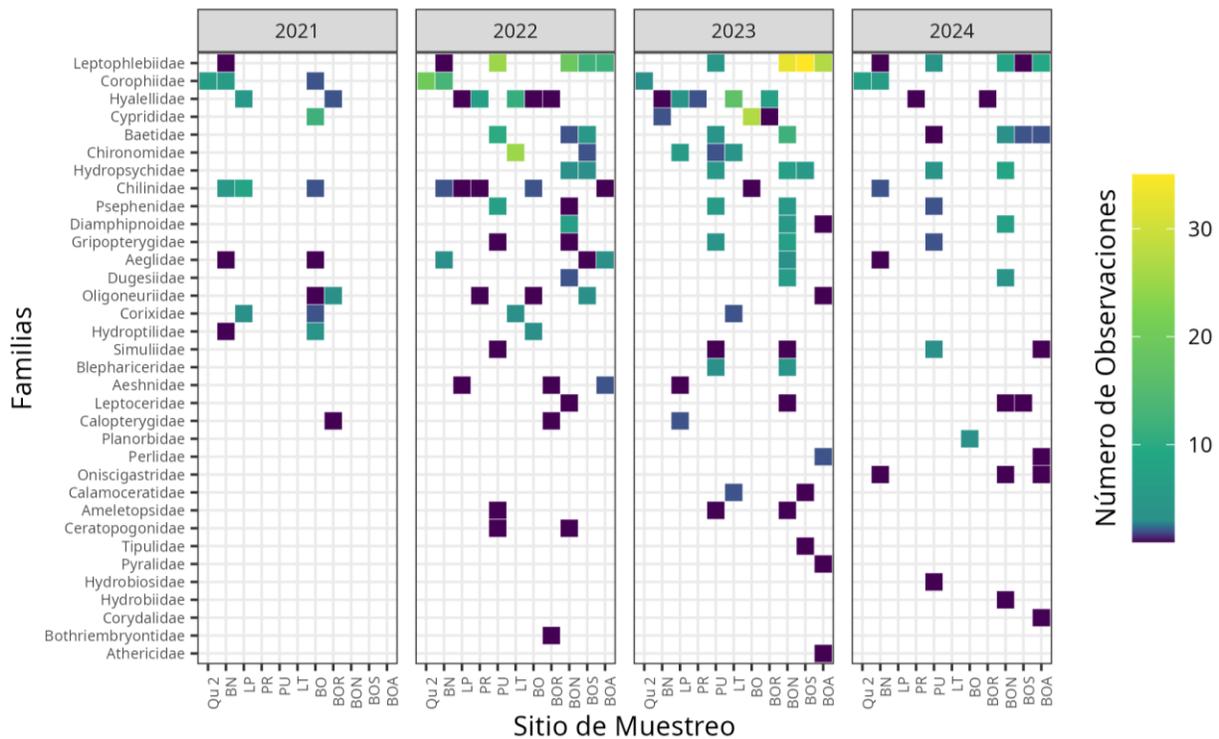


**Figura 127.** Análisis de componentes principales (PCA) para el total de datos de los parámetros medidos. Las elipses representan el 95% de confianza para los puntajes agrupados por a) Año, b) Estación climática, c) Cuenca, y d) Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

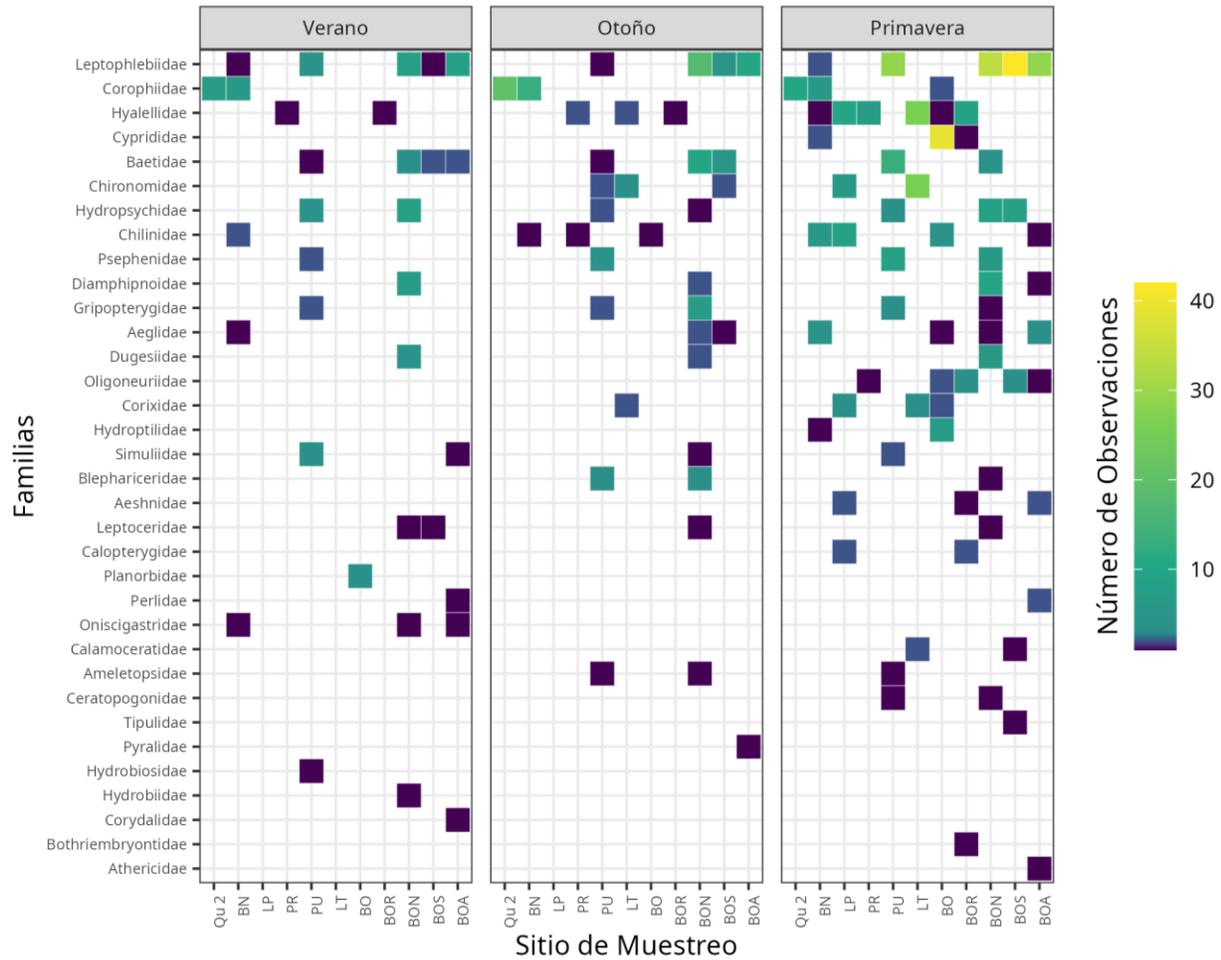
## 4.8.2 Biota

### 4.8.2.1 Macroinvertebrados bentónicos

Durante las seis campañas realizadas, se contabilizó un total de 660 individuos, representando a 34 familias. La familia Leptophlebiidae fue la más importante, con 193 individuos asignados. La agrupación de las campañas por año (**Figura 128**) indica que para los años 2022 y 2023 se registró una cantidad similar de individuos (228 y 273, respectivamente), mientras que 2021 fue el año con la menor cantidad de registros (67 individuos). Desde la perspectiva de las estaciones climáticas (**Figura 129**), las campañas de primavera mostraron las mayores abundancias.

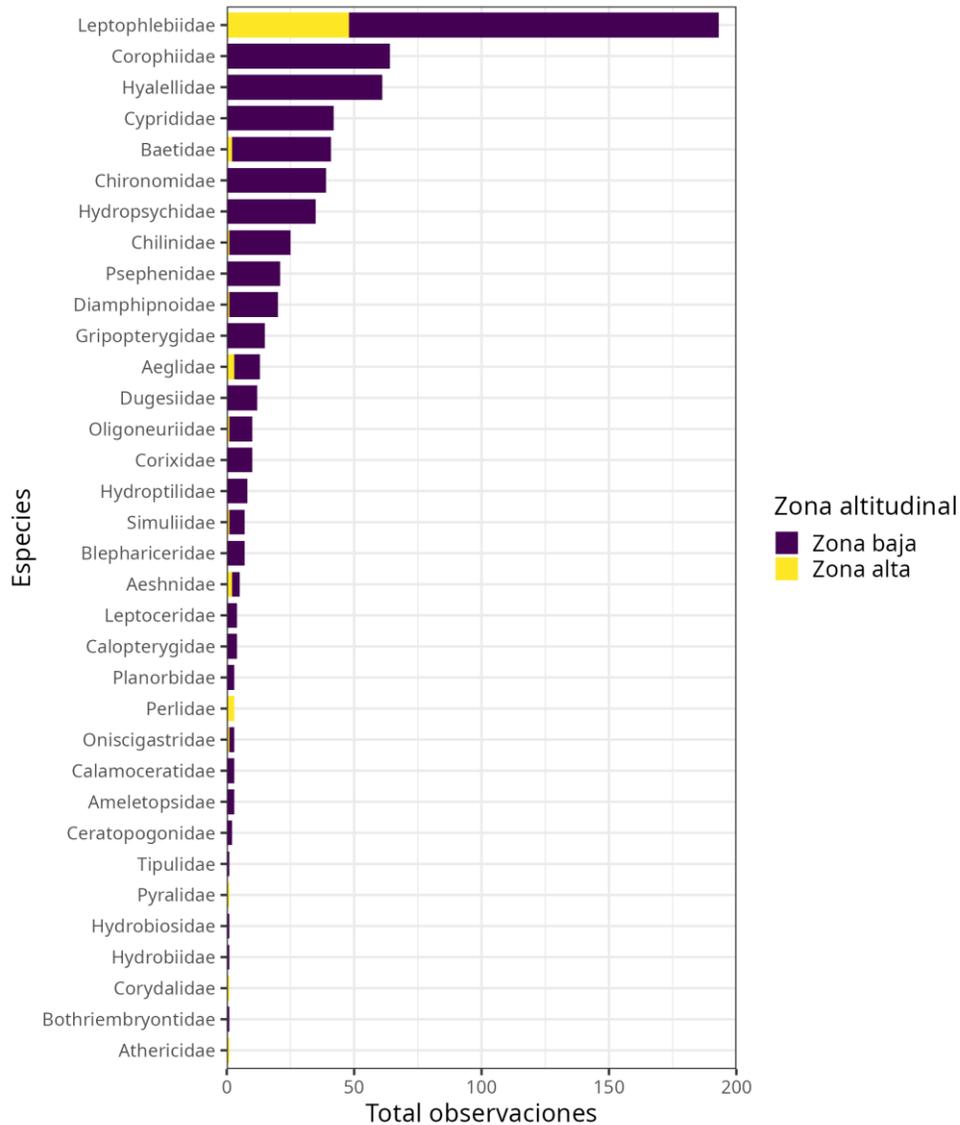


**Figura 128.** Número de observaciones (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de familia de macroinvertebrados bentónicos por sitio y año de monitoreo. Elaboración propia.



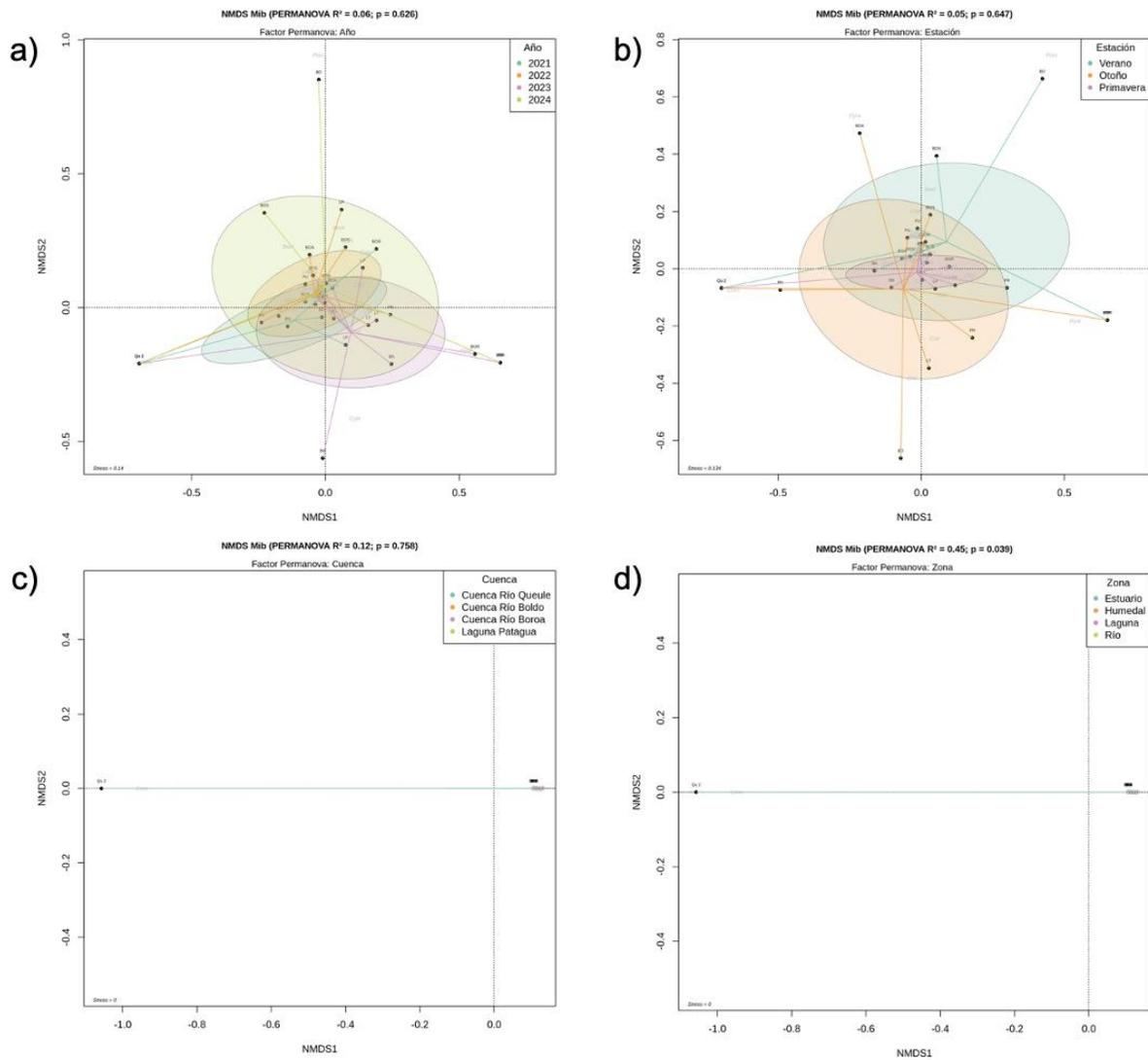
**Figura 129.** Número de observaciones (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de familia de macroinvertebrados bentónicos por sitio y estación climática de monitoreo. Elaboración propia.

Desde un punto de vista espacial (**Figura 130**), clasificando este humedal en zona baja (todas las estaciones a excepción de BOA) y altas (BOA), la mayoría de los individuos fueron registrados en la parte baja (594 individuos de un total de 660), solo algunas familias en particular fueron encontradas en la zona alta (Perlidae, Pyralidae, Corydalidae y Athericidae), pero con muy baja abundancia.



**Figura 130.** Número de observaciones (Abundancia) de individuos reconocidos a nivel de familia de macroinvertebrados bentónicos por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

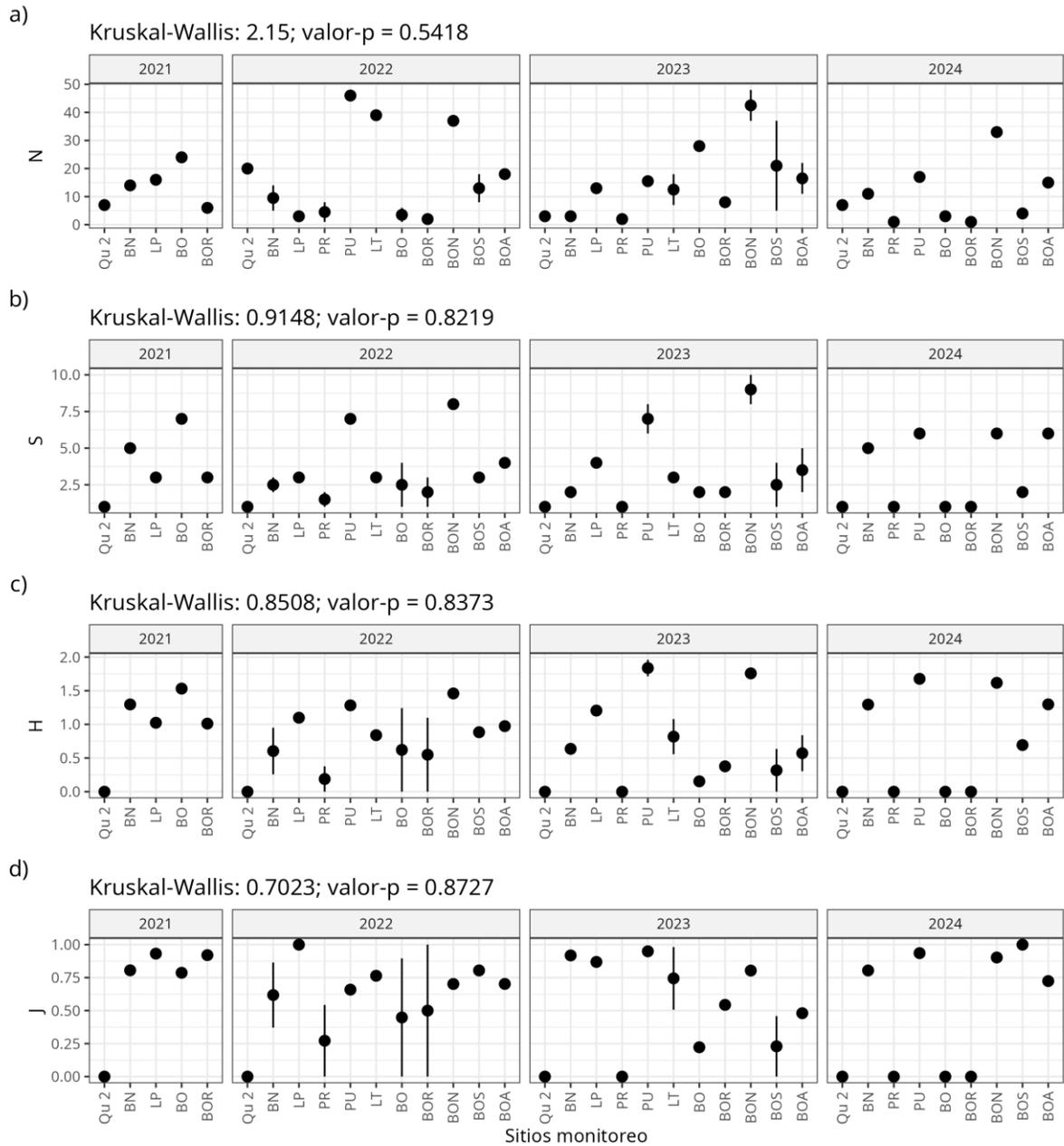
A nivel temporal, no se encontró evidencia de una estructura comunitaria diferenciada ni entre años ni entre estaciones climáticas (**Figuras 131a** y **131b**). A nivel espacial, no se observa una composición de especies significativamente diferente entre las distintas subcuencas (**Figura 131c**). No obstante, a nivel de zonas (estuario, humedal, laguna y río), se identifican diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con cautela, ya que cada zona está representada por uno o un par de puntos, lo que podría hacer que cualquier contraste estadístico sea espurio, como en este caso (**Figura 131d**).



**Figura 131.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las familias. En a) puntajes agrupados por Año, b) por Estación climática, en c) por Cuenca, y en d) agrupados por Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

La comparación de los índices comunitarios entre años indica que ninguno de estos índices presenta diferencias estadísticas significativas (**Figura 132**). Durante el año 2021, se observa un aumento en la abundancia desde la estación Qu\_2 hasta la estación BO, seguido por una disminución a niveles inferiores a los de Qu\_2 en la estación BOR. Sin embargo, este patrón se pierde en los años siguientes debido a la incorporación de nuevas estaciones de monitoreo. En general, las estaciones PU, LT y BON muestran los mayores niveles de abundancia registrados a lo largo de todos los años de monitoreo (**Figura 324a**). En cuanto a la riqueza de familias (**Figura 132b**), tampoco se identifica un patrón claro; los niveles más altos de riqueza se registraron durante los años 2022 y 2023, especialmente en la estación BON. De manera similar, no se observa un patrón consistente en la diversidad atribuible a los años; parece que los valores son más bien dependientes de la estación de monitoreo (**Figura 132c**). Finalmente, la uniformidad muestra una ausencia de patrones generales tanto entre estaciones como a lo largo de los años, lo que sugiere que el proceso es más bien dependiente de la estación de monitoreo (**Figura 132d**)

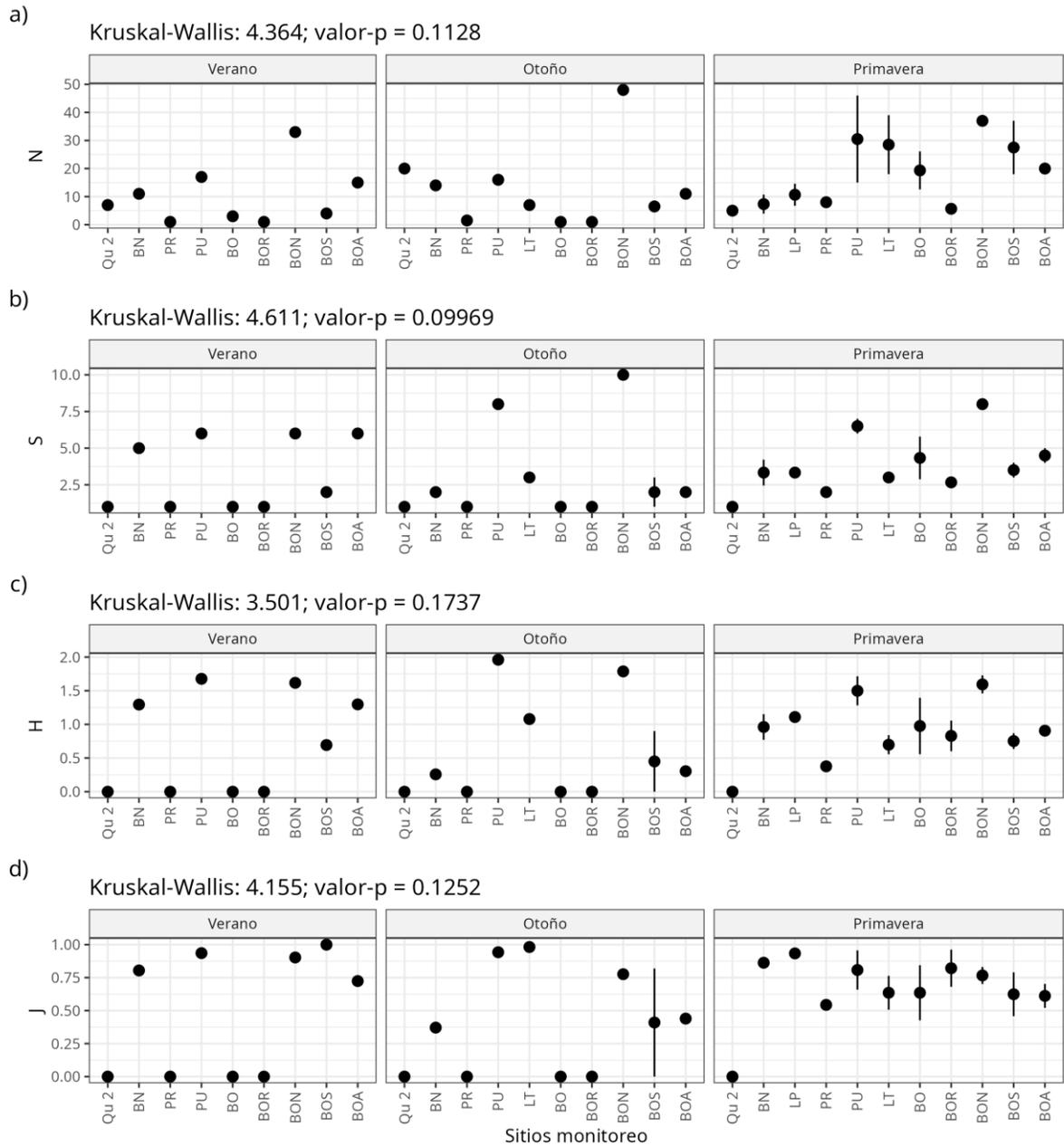
Factor: Año



**Figura 132.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por año y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de familias (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre los años. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Al igual que con los años, la comparación de los índices comunitarios entre campañas indica que ninguno de estos índices presenta diferencias estadísticas significativas (**Figura 133**). En general, se observan bajas abundancias por estación, salvo en el caso de BON, que mostró los mayores valores a lo largo de todas las estaciones climáticas (**Figura 133a**). Ni para la riqueza ni para la diversidad se observa algún tipo de regularidad en sus valores entre las estaciones (**Figuras 133b, 133c**), sugiriendo procesos idiosincráticos dependientes de los sitios de monitoreo en particular. Finalmente, la uniformidad (**Figura 133d**) muestra una alta variabilidad tanto entre sitios como entre estaciones. En primavera, se observa una mayor estabilidad en los valores, excepto en la estación Qu\_2.

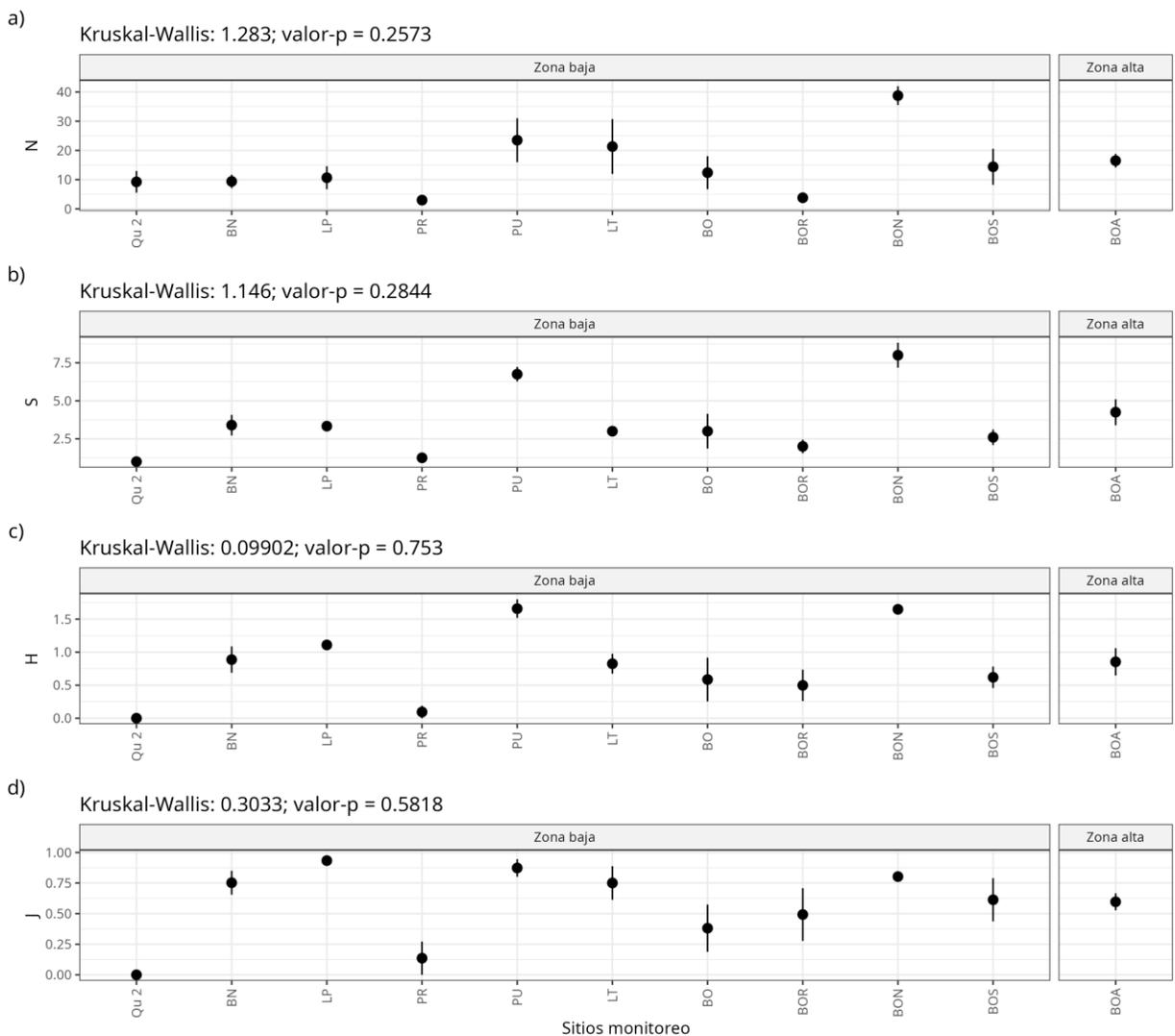
Factor: Estación



**Figura 133.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por estación climática y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las estaciones climáticas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Del mismo modo, los resultados obtenidos al comparar los índices comunitarios en diferentes dimensiones temporales (año y estación climática) indican que, a nivel espacial, específicamente a nivel de zona altitudinal, no existen diferencias significativas entre estas, debido principalmente a que la zona alta se encuentra definida solo para una estación (**Figura 134**). La abundancia (**Figura 134a**) es en promedio mayor en la zona baja, particularmente en la estación BON, en la cual se registra el valor máximo, seguida por las estaciones PU y LT. La zona alta (estación BOA) presenta una abundancia mayor a muchas de las estaciones de la zona baja (QU\_2, BN, LP, PR y BOR). Por su parte, la riqueza de especies (**Figura 134b**), sigue un patrón similar al observado para la abundancia. La diversidad (**Figura 134c**) de familias muestra sus valores más altos en las estaciones PU y BON y el menor en la estación Qu\_2. Finalmente, los valores de Uniformidad (**Figura 134d**) son variables entre las zonas, encontrándose el mayor valor en la zona baja (en el sistema independencia de la laguna Patagua; LP) y con valores relativamente altos ( $J > 0,75$ ) en las estaciones BN, PU, LT y BON. la zona alta (BOA) presenta un valor moderado ( $J \approx 0,62$ ).

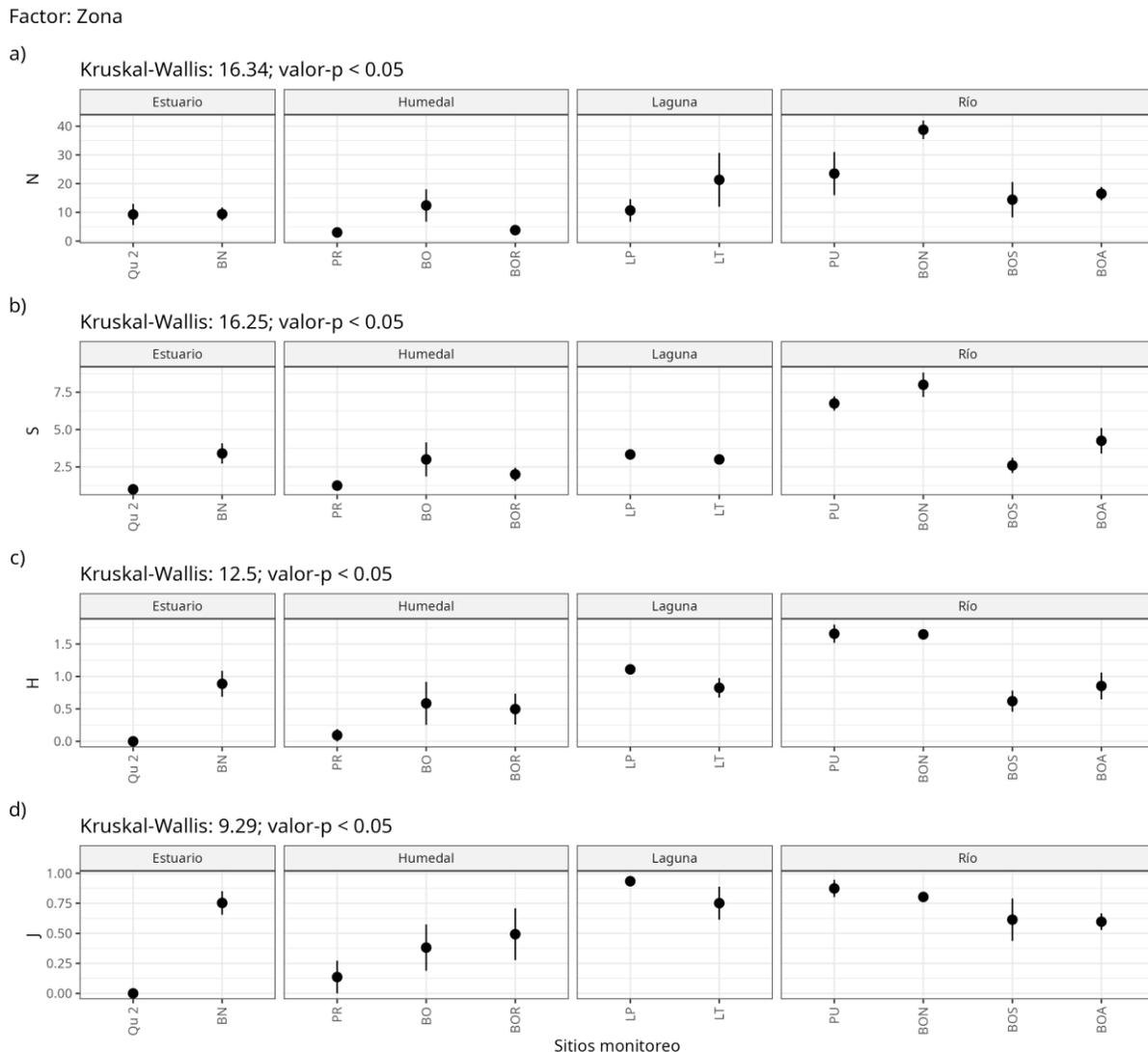
Factor: Zona altitudinal



**Figura 134.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Finalmente, los resultados obtenidos al comparar los índices comunitarios a través de las distintas zonas indican que, para todos los índices calculados, existen diferencias significativas entre las zonas (**Figura 135**). La abundancia (**Figura 135a**) muestra una tendencia a aumentar a medida que se pasa de la zona estuarina a la zona denominada como río, donde alcanza su valor máximo en la estación BON, aunque luego disminuye en las estaciones BOS y BOA. Este patrón es similar

al observado para la riqueza de especies (**Figura 135b**). La diversidad de familias (**Figura 135c**) varía marcadamente entre las zonas, siendo en general menor en el estuario y humedal y mayor en el río. Por último, los valores de Uniformidad (**Figura 135d**) son bastante variables entre las zonas, registrándose los mayores niveles en la laguna y el río. En el estuario, las dos estaciones, Qu\_2 y BN, muestran valores muy contrastantes, a diferencia del humedal, donde los valores son algo más estables



**Figura 135.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por zona y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

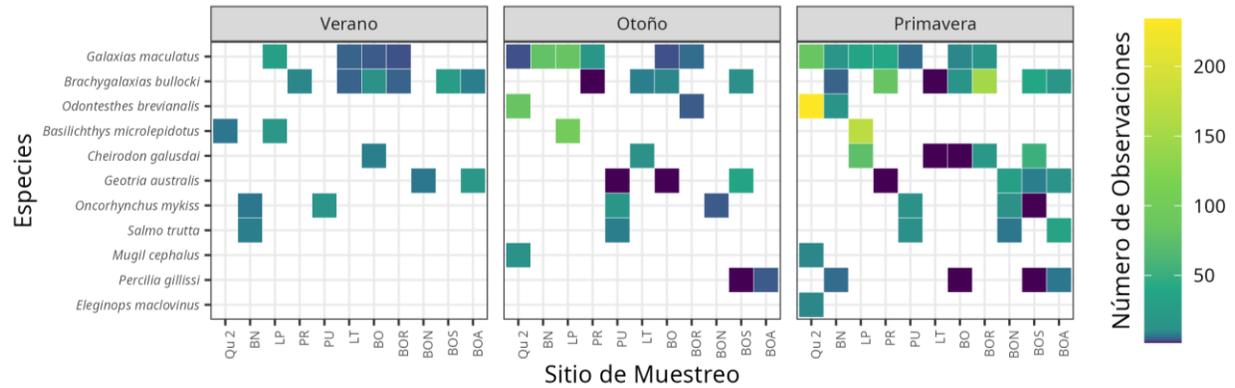
#### 4.8.2.2 Ictiofauna

Se registraron un total de 1873 individuos colectados de fauna íctica del humedal del río Queule para las seis campañas de monitoreo realizadas entre los periodos 2021 a 2024, los cuales se distribuyeron en 11 especies correspondientes a *Basilichthys microlepidotus*, *Brachygalaxias bullock*, *Cheirodon galusdae*, *Eleginops maclovinus*, *Galaxias maculatus*, *Geotria australis*, *Mugil cephalus*, *Odontesthes brevianalis*, *Oncorhynchus mykiss*, *Percilia gillissi*, y *Salmo trutta*.

Respecto a la abundancia de la ictiofauna, y considerando el total de campañas de monitoreo, la especie *Galaxias maculatus* presentó los mayores niveles acumulando un total de 425 individuos. En segundo lugar, los mayores niveles de abundancia los exhibió la especie *Brachygalaxias bullocki* con 386 individuos, seguida de *Odontesthes brevianalis* con 333 registros. En contra parte, la especie con menor representación corresponde a *Eleginops maclovinus* con 8 individuos registrados.

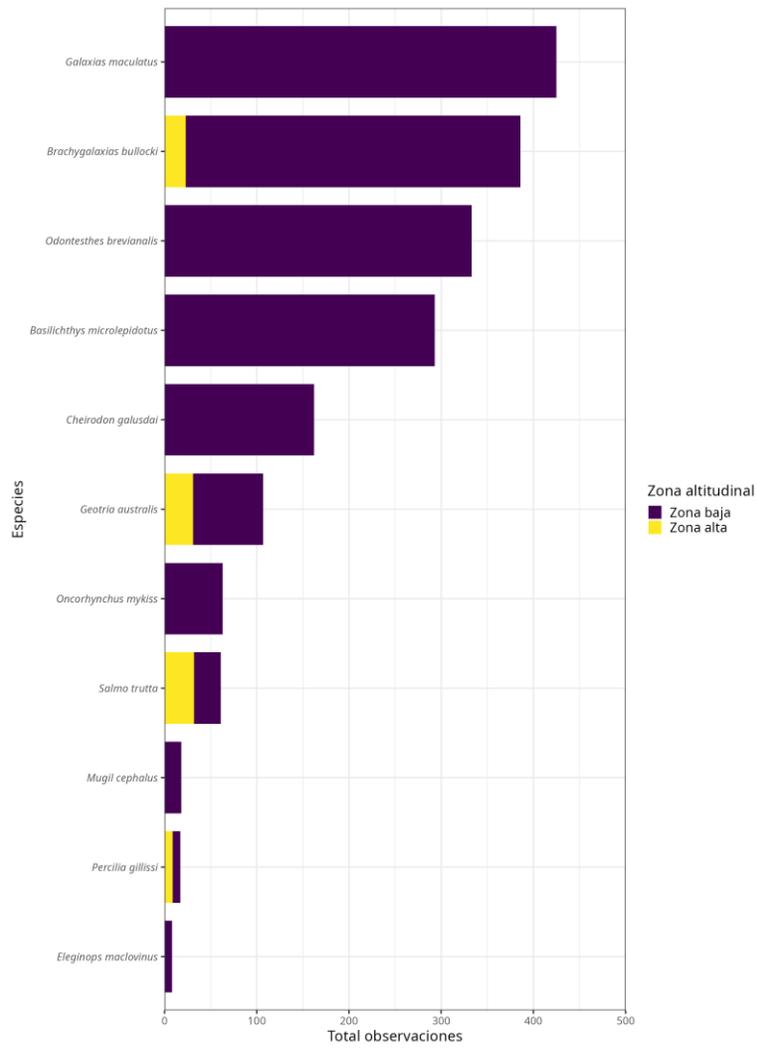
Respecto al estado de conservación de la ictiofauna registrada, seis especies se clasifican como Vulnerable (VU), las cuales corresponden a *Basilichthys microlepidotus*, *Brachygalaxias bullock*, *Cheirodon galusdae*, *Galaxias maculatus*, *Geotria australis*, y *Odontesthes brevianalis*; dos especies se clasifican en Preocupación Menor (LC), correspondientes a *Eleginops maclovinus* LC, *Mugil cephalus*, mientras que una clasifica como En Peligro (EN), correspondiente a *Percilia gillissi*, todo ello de acuerdo al Reglamento de Clasificación de Especies (RCE).

En cuanto a la abundancia de ictiofauna por estaciones climáticas (**Figura 136**), se observa que las mayores densidades se registran en primavera, seguida por otoño. La primavera, en particular, se destaca por la notable abundancia de *Odontesthes brevianalis* en el sitio Qu\_2, lo que contribuye significativamente a los altos niveles observados en esta estación. Otoño también presenta niveles relativamente elevados, aunque menores que los de primavera. Por otro lado, el verano muestra las menores abundancias, lo que sugieren que las condiciones climáticas juegan un papel importante en la fluctuación de la ictiofauna a lo largo del año.



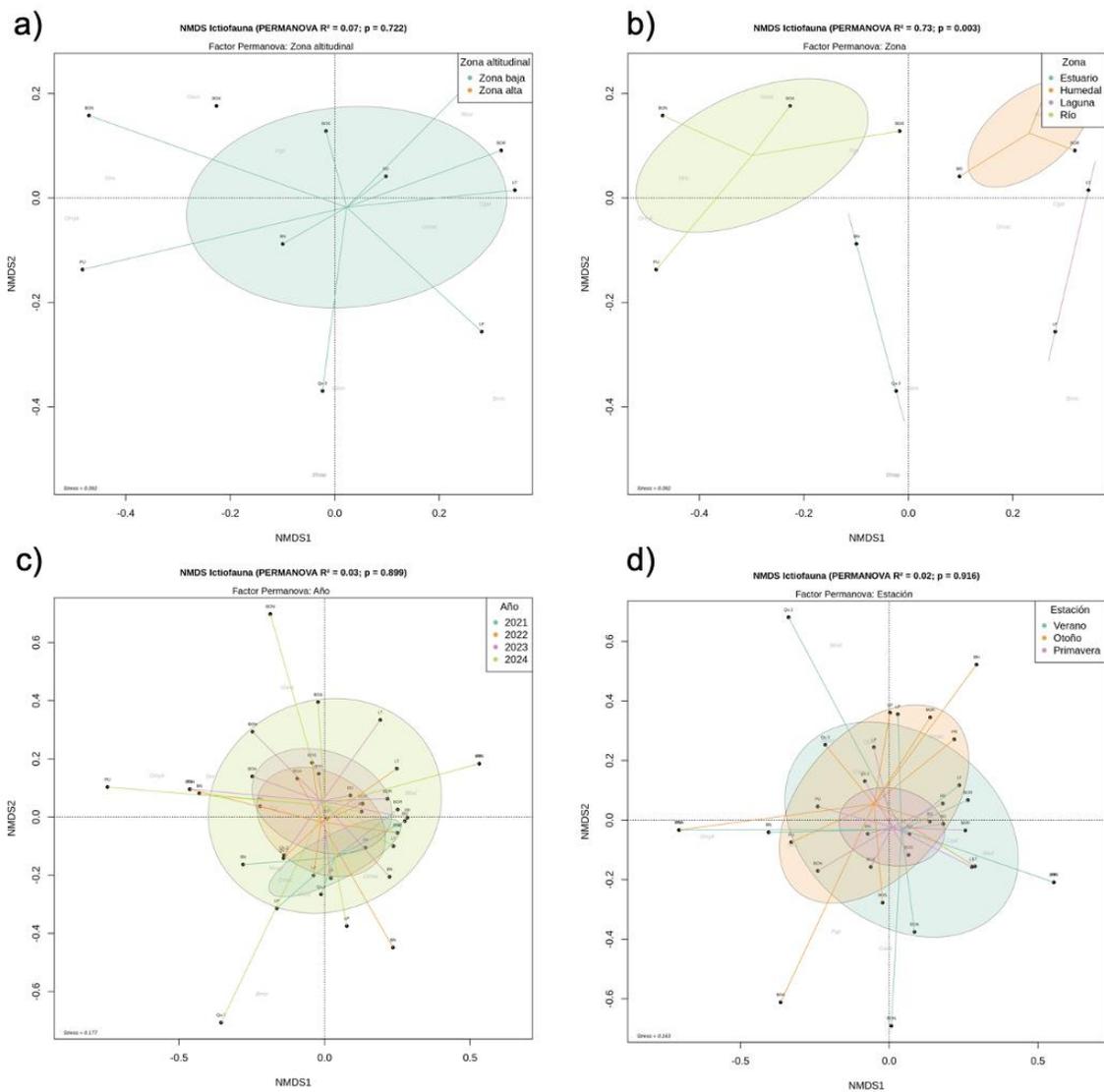
**Figura 136.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de peces por sitio de monitoreo y estaciones climáticas. Elaboración propia.

A nivel espacial, la mayor abundancia de ictiofauna (**Figura 137**) se reporta en la zona baja, siendo *Galaxias maculatus* la especie más abundante. Solamente cuatro especies (*Brachygalaxias bullocki*, *Geotria australis*, *Salmo trutta* y *Percilia gillissi*).



**Figura 137.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de peces por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

La **Figura 138a** presenta el análisis de la estructura comunitaria agrupado por Zona altitudinal de monitoreo, resultados del cual no se observan diferencias estadísticamente significativas en la composición de taxa entre las zonas (PERMANOVA  $R^2 = 0,07$ ; valor-p = 0,722). Por su parte, la **Figura 138b** presenta el análisis de la composición de taxa por zona ecológica (estuarina y fluvial), mostrando diferencias significativas (PERMANOVA  $R^2 = 0,73$ ; valor-p = 0,003). Este análisis revela que las zonas de humedales se distinguen claramente por la presencia de la especie *Brachygalaxias bullocki* (Bbul), mientras que la zona fluvial, correspondiente a los ríos, se caracteriza por la presencia de especies como *Galaxias maculatus* (Gaus), *Salmo trutta* (Stru), y *Oncorhynchus mykiss* (Omyk). Por otro lado, la zona estuarina se asocia principalmente con la especie *Odontesthes brevianalis* (Obre), destacando las diferencias ecológicas entre los hábitats y las especies que los ocupan. Estos resultados reflejan una marcada segregación en la distribución de las especies según las características ecológicas de las zonas evaluadas. La **Figura 138c** muestra el análisis agrupado por parte de año, no evidenciando diferencias significativas en la composición de taxa (PERMANOVA  $R^2 = 0,03$ ; valor-p = 0,899). Finalmente, La **Figura 138d** presenta el análisis por estación climática, en el cual no se aprecian diferencias significativas en la composición de taxas (PERMANOVA  $R^2 = 0,02$ ; valor-p = 0,916).

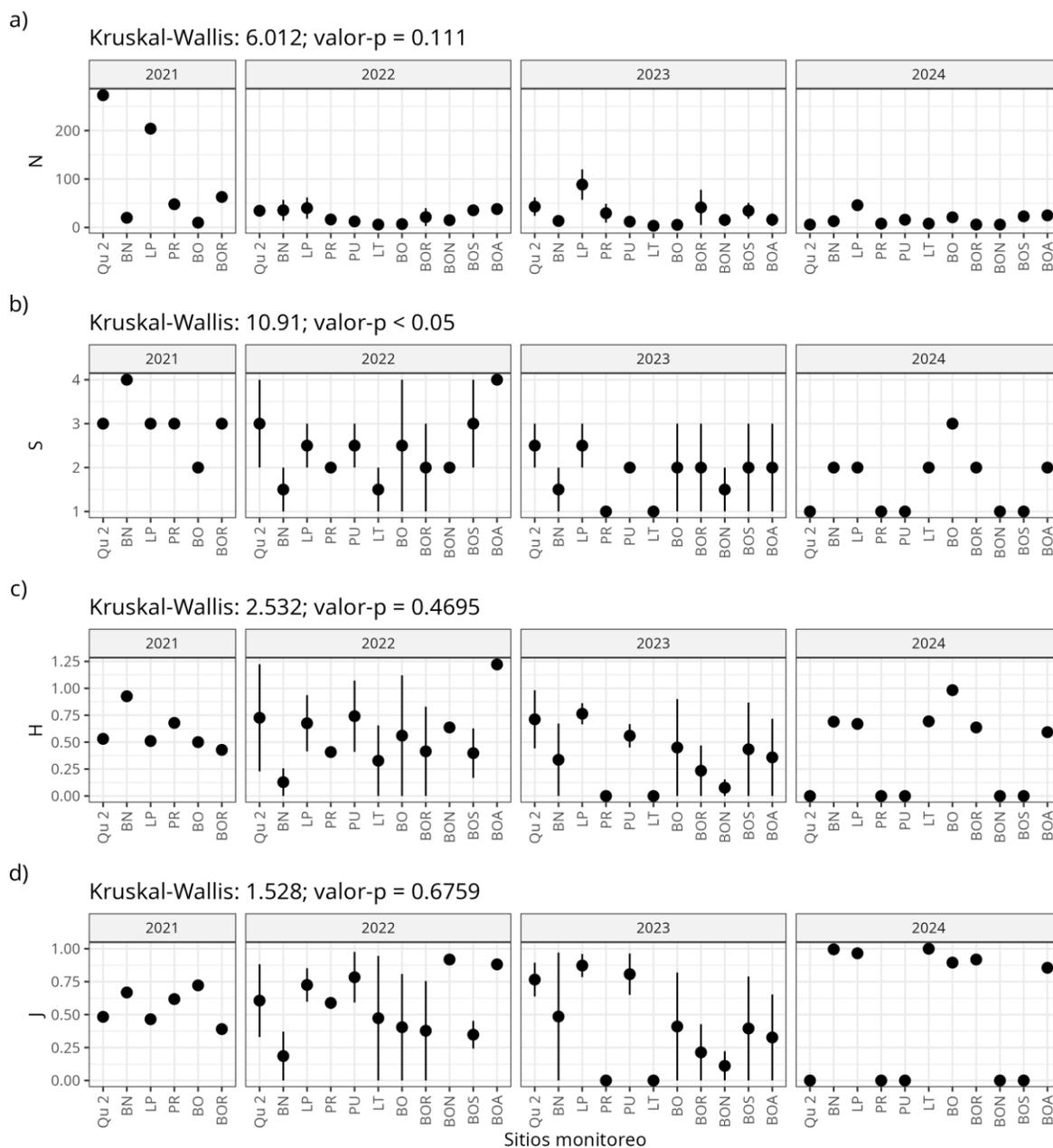


**Figura 138.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Año, b) por Estación climática, en c) por Cuenca, y en d) agrupados por Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

El análisis de los índices de biodiversidad para la ictiofauna reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas en los indicadores Abundancia (N), Diversidad de Shannon (H), y Uniformidad de Pielou (J), entre los distintos periodos de monitoreo, sin embargo, el índice de Riqueza de taxones (S) presenta diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ; **Figura 139**). Respecto a la abundancia (N) registrada por año de monitoreo, se observa que los mayores niveles se encontraron en el sitio de monitoreo Qu\_2 y LP durante 2021 ( $N > 200$ ), mientras que el resto de los años presentaron abundancias moderadas a bajas en todos los sitios ( $N < 100$ ). La Riqueza de taxones (S) presentó sus mayores niveles en 2021 y 2022 en los sitios BN y BOA respectivamente, con niveles de  $S = 4$ . Las menores riquezas fueron exhibidas en los años 2023 y 2024 alcanzando niveles mínimos de  $S = 1$ .

Los valores de diversidad de Shannon (H) y Uniformidad de Pielou (J') presentaron una tendencia similar entre sí. Particularmente, para la diversidad, el año 2022 alcanzó el máximo en el sitio BOA con  $H \sim 1,25$ , mientras que la Uniformidad exhibió los mayores niveles en 2024 en los sitios BN y LT ( $J = 1,0$ ).

Factor: Año



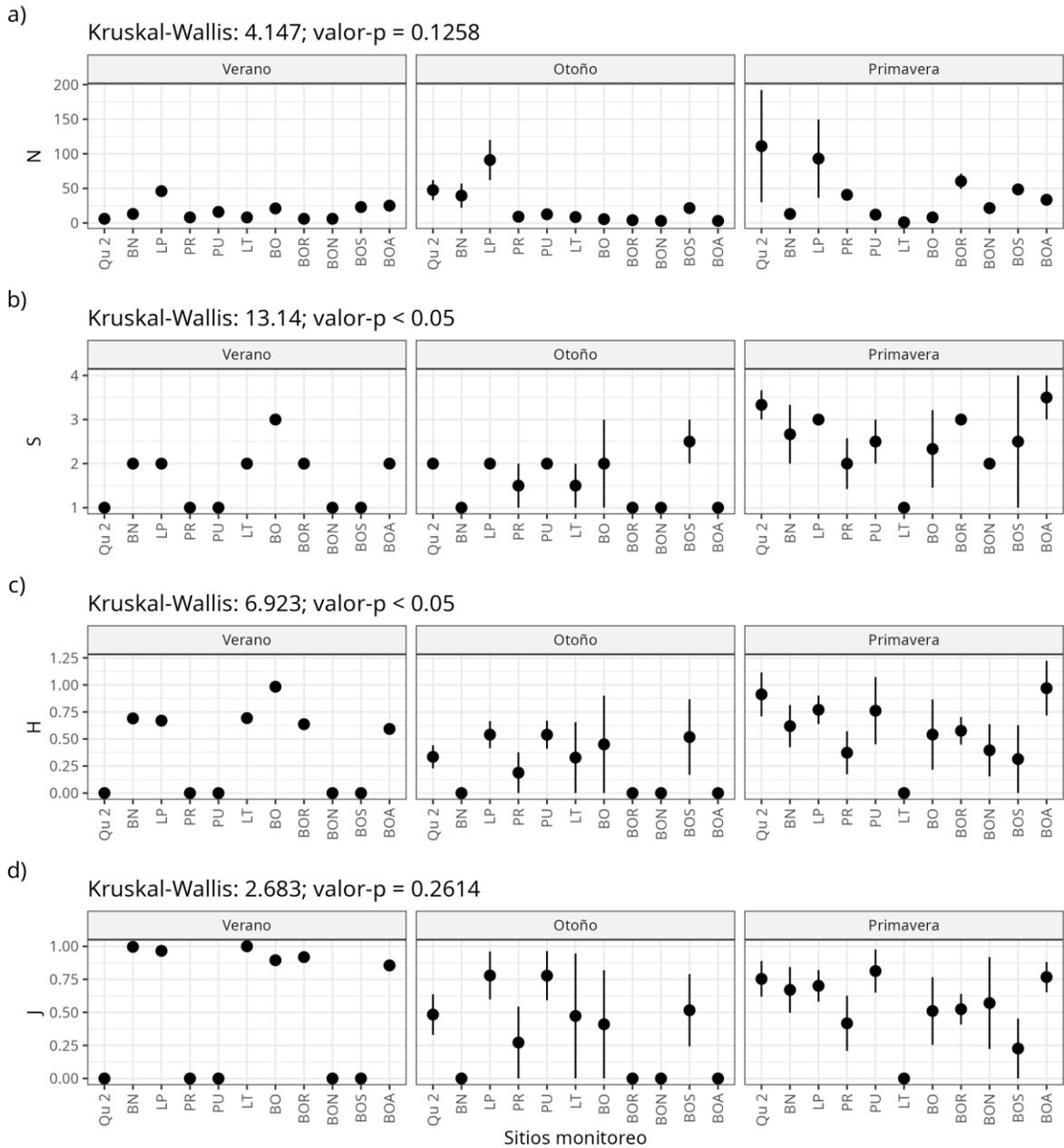
**Figura 139.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por año y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre los años. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

El análisis de los índices de biodiversidad para la ictiofauna reveló que existen diferencias estadísticamente significativas en los indicadores Riqueza de especies (S) y Diversidad de Shannon (H), entre las distintas estaciones climáticas, según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ; **Figura 140**), mientras que para los índices Abundancia (N), Uniformidad de Pielou (J), no se observaron diferencias estadísticamente significativas

Las mayores abundancias (N) se registraron en primavera, destacando los valores obtenidos en los sitios Qu\_2 y LP, con un nivel cercano a 100 individuos. Destaca igualmente el registro del sitio LP (Laguna Patagua) en otoño. La Riqueza de taxones (S) presentó sus mayores niveles en primavera, presentando niveles elevados en prácticamente todos los sitios de monitoreo, a excepción del sitio LT (laguna Tromén).

Los valores de diversidad de Shannon (H) y Uniformidad de Pielou (J') presentaron una tendencia similar entre sí, y se distribuyeron de forma heterogénea entre las estaciones climáticas y sitios de monitoreo.

Factor: Estación



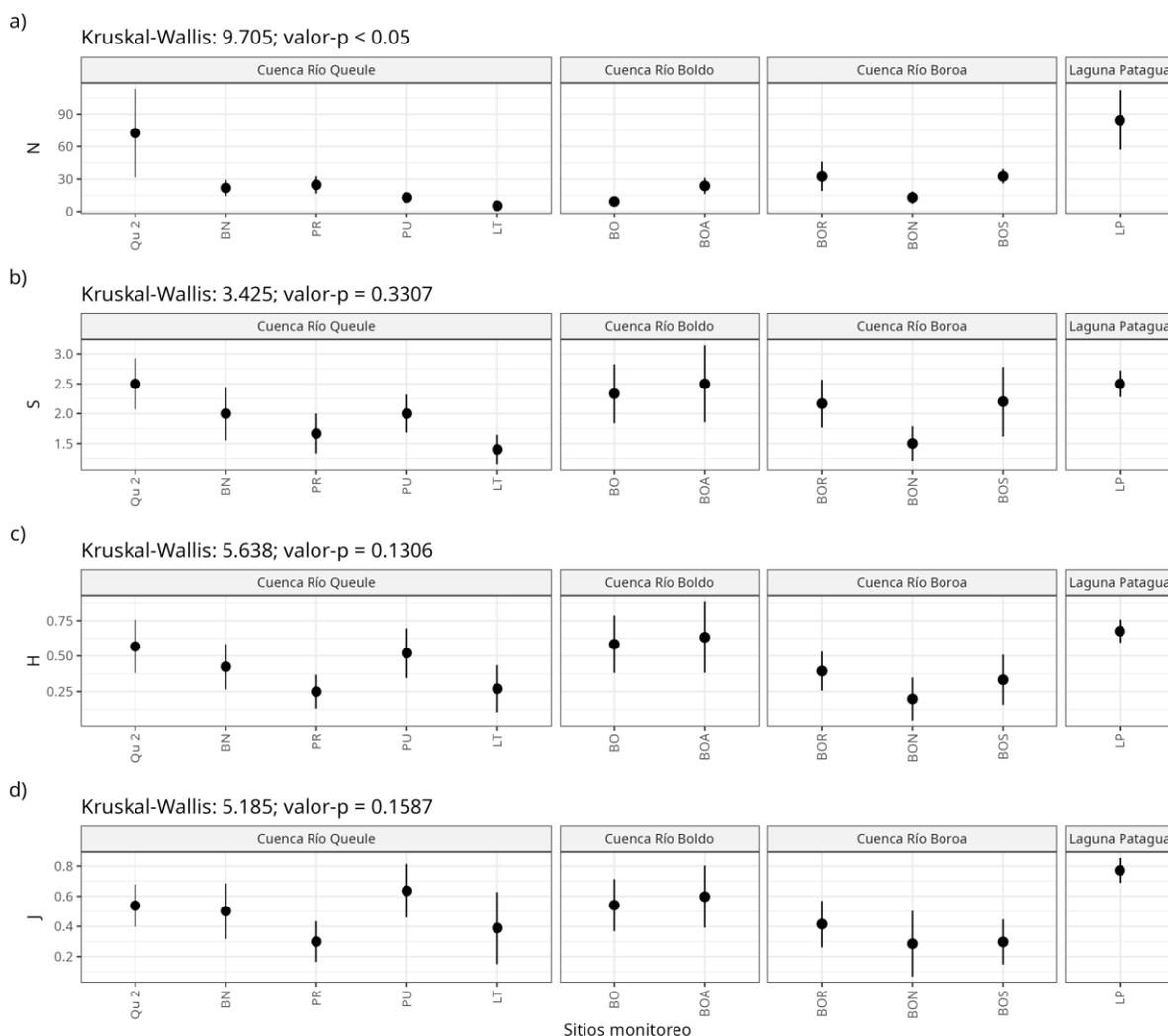
**Figura 140.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por estación climática y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las estaciones climáticas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

El análisis de los índices de biodiversidad para la ictiofauna agrupados por zonas de la cuenca, reveló que existen diferencias estadísticamente significativas en el indicador Abundancia (N) según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ; **Figura 141**), sin embargo, los índices de Riqueza de taxones (S), Diversidad de Shannon (H), y Uniformidad de Pielou (J), no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

En cuanto a la abundancia (N), la laguna Patagua (LP, sistema independiente) y las zonas de monitoreo del humedal, particularmente en el sitio Qu\_2, presentaron los mayores niveles, con registros superiores a 60 individuos ( $N > 60$ ). El resto de los sitios distribuidos en las cuatro zonas estudiadas mostraron abundancias moderadas a bajas, con menos de 30 individuos ( $N < 30$ ). La riqueza de taxones (S) mostró un comportamiento heterogéneo entre las cuencas, destacándose los sitios Qu\_2 (cuenca del río Queule), BOA (cuenca del río Boldo), y LP (laguna Patagua), que alcanzaron una riqueza taxonómica de aproximadamente  $S = 2,5$ .

Los valores de diversidad de Shannon (H) y Uniformidad de Pielou (J) presentaron tendencias similares, con la laguna Patagua (LP) destacándose en ambos indicadores comunitarios, registrando los mayores niveles de diversidad ( $H \approx 0,75$ ) y Uniformidad ( $J \approx 0,8$ ). Esto sugiere una distribución más equitativa de las especies y una mayor diversidad relativa en este sitio en comparación con las otras zonas estudiadas.

Factor: Cuenca



**Figura 141.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

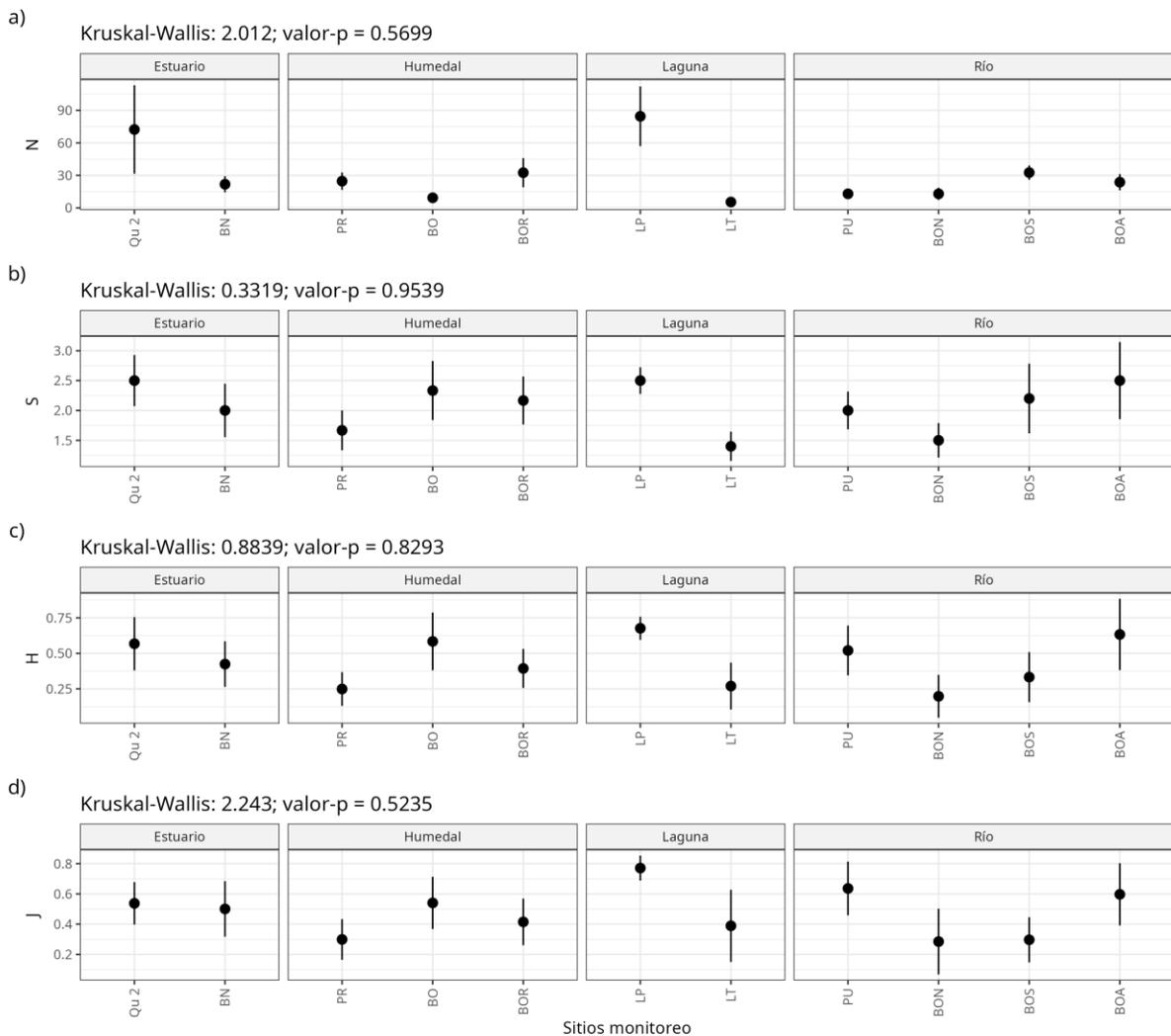
El análisis de los índices de biodiversidad para la ictiofauna agrupados por zonas ecológica (Estuario, humedal, laguna y río), reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas en los indicadores Abundancia (N), Riqueza de especies (S), Diversidad de Shannon (H), y Uniformidad de Pielou (J), según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ; **Figura 142**).

En cuanto a la abundancia (N), el sistema lacustre, representado por la laguna Patagua (LT), registró el mayor nivel de abundancia, con un total cercano a 90 individuos. En segundo lugar, se encuentra la zona estuarina, particularmente el sitio Qu\_2, que presentó una abundancia cercana a 75 individuos. Las zonas de humedal y río mostraron las menores abundancias en todos los sitios de monitoreo, con valores inferiores a 35 individuos ( $N < 35$ ).

La riqueza de taxones (S) presentó un comportamiento variado entre las zonas ecológicas. Los mayores niveles se observaron en la zona estuarina (Qu\_2), la laguna Patagua (LP), y la zona fluvial (BOA), donde cada sitio alcanzó una riqueza de aproximadamente  $S = 2,5$ . En contraste, la menor riqueza se registró en la zona lacustre, especialmente en el sitio LT (laguna Tromén), con un nivel inferior a 1,5.

Los valores de diversidad de Shannon (H) y Uniformidad de Pielou (J') mostraron tendencias similares. En ambos casos, la laguna Patagua (LP) se destacó al presentar los niveles más altos en ambos indicadores comunitarios, con valores de  $H \approx 0,75$  y  $J \approx 0,8$ , lo que sugiere una mayor diversidad y equitativa distribución de especies en esta zona.

Factor: Zona



**Figura 142.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por zona y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

#### 4.8.2.3 Avifauna

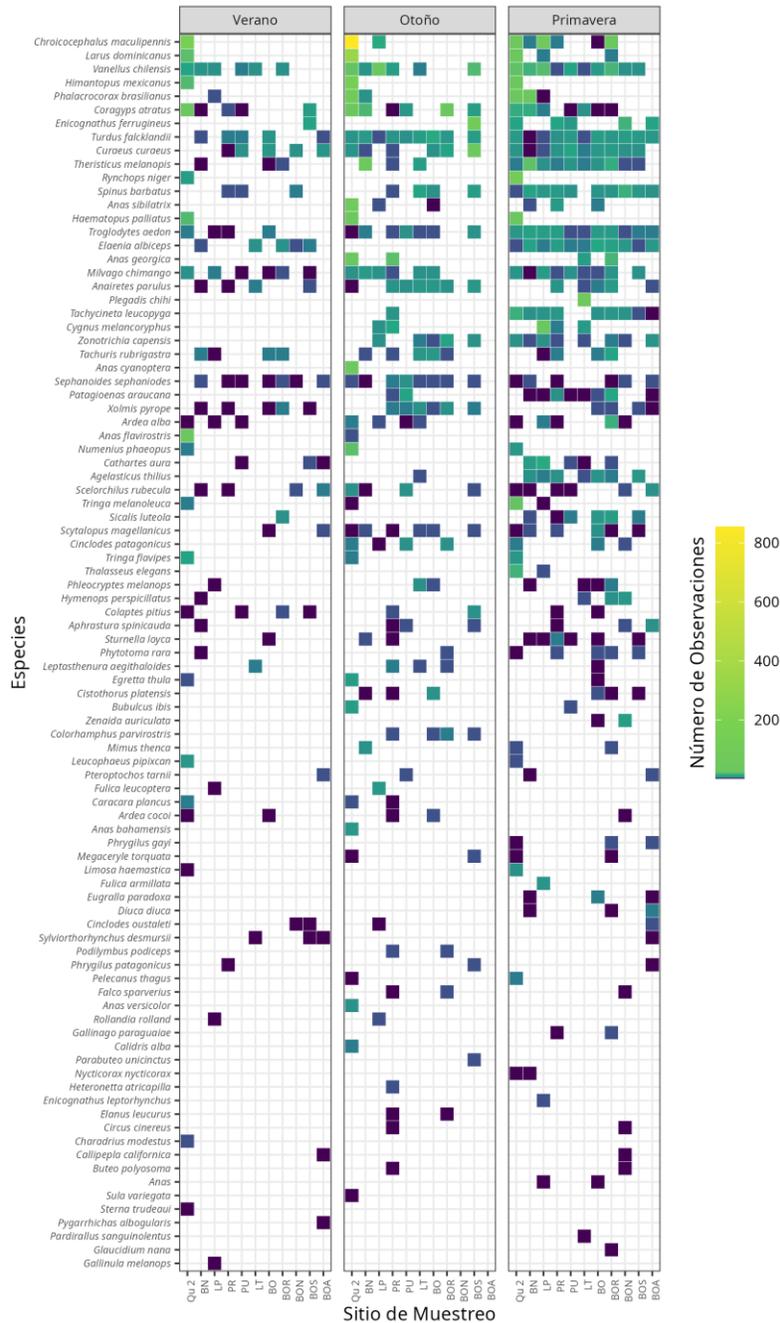
Durante las seis campañas de monitoreo realizadas (primavera de 2021, otoño y primavera de 2022, otoño y primavera de 2023, y verano de 2024) se contabilizó un total de 4.546 individuos pertenecientes a 91 especies. Las especies más abundantes fueron *Chroicocephalus maculipennis* con 1.160 individuos, seguida de *Larus dominicanus* con 387 individuos y *Vanellus chilensis* con 210 individuos. Desde una perspectiva temporal, el mayor número de individuos se registró durante las campañas de 2022, con un total de 2.583 individuos, seguido por las campañas de 2023, en las que se contabilizaron 1.000 individuos. Se observó una notable variación tanto en la abundancia de las especies a lo largo de los años como en su presencia (**Figura 143**). Por ejemplo, la especie *Enicognathus leptorhynchus* fue registrada exclusivamente durante la campaña de 2021, mientras que otras, como *Anairetes parulus*, *Ardea alba* y *Cathartes aura*, estuvieron presentes en al menos una de las campañas realizadas en un año en particular.



**Figura 143.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por año sitio y año de monitoreo. Elaboración propia.

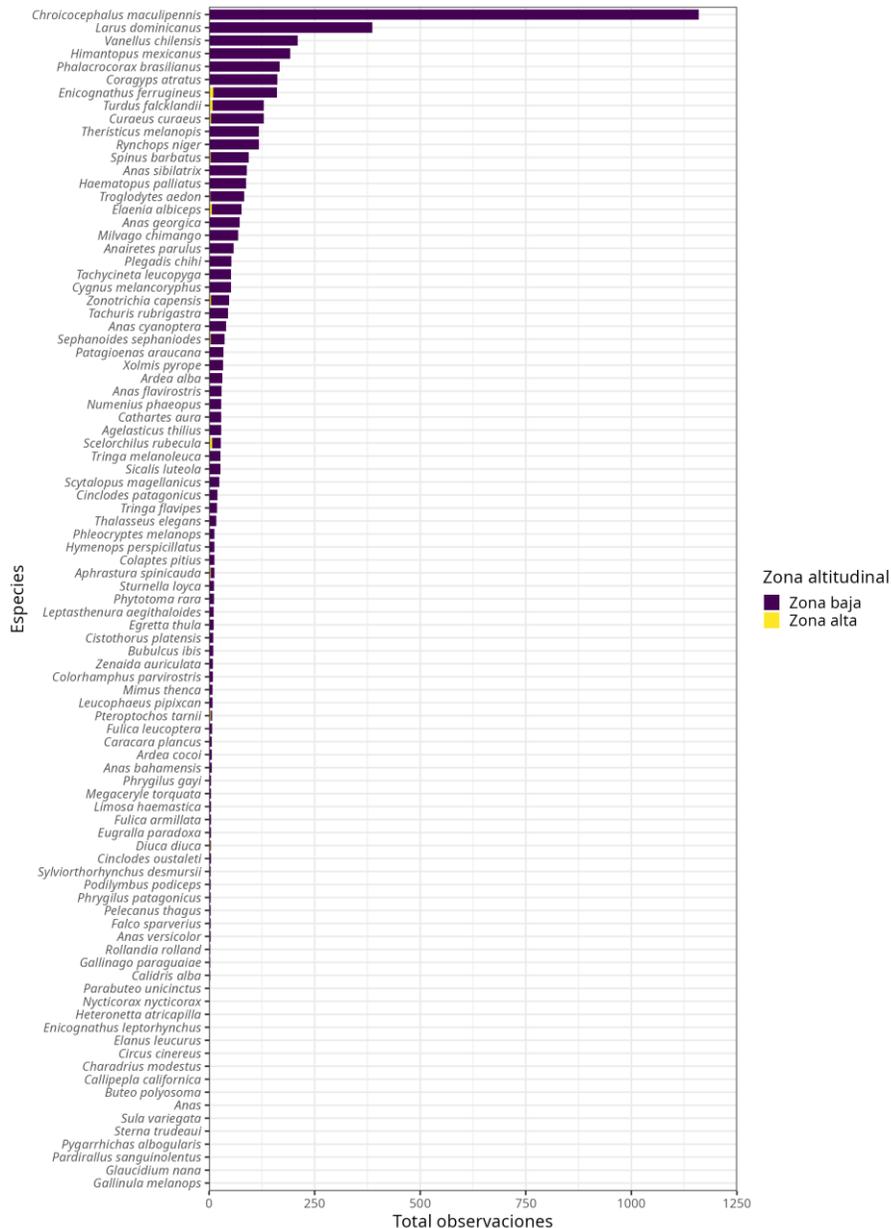
Al analizar las abundancias desde la perspectiva de las estaciones climáticas (**Figura 144**), se observa que durante las campañas realizadas en otoño se registró el mayor número de individuos (2,474), seguido por primavera (1,553). De manera similar a lo observado en los análisis por año, a nivel estacional se identifica que 27 especies estuvieron restringidas a una única estación,

mientras que 35 especies fueron registradas en las tres estaciones para las cuales se disponen de datos.



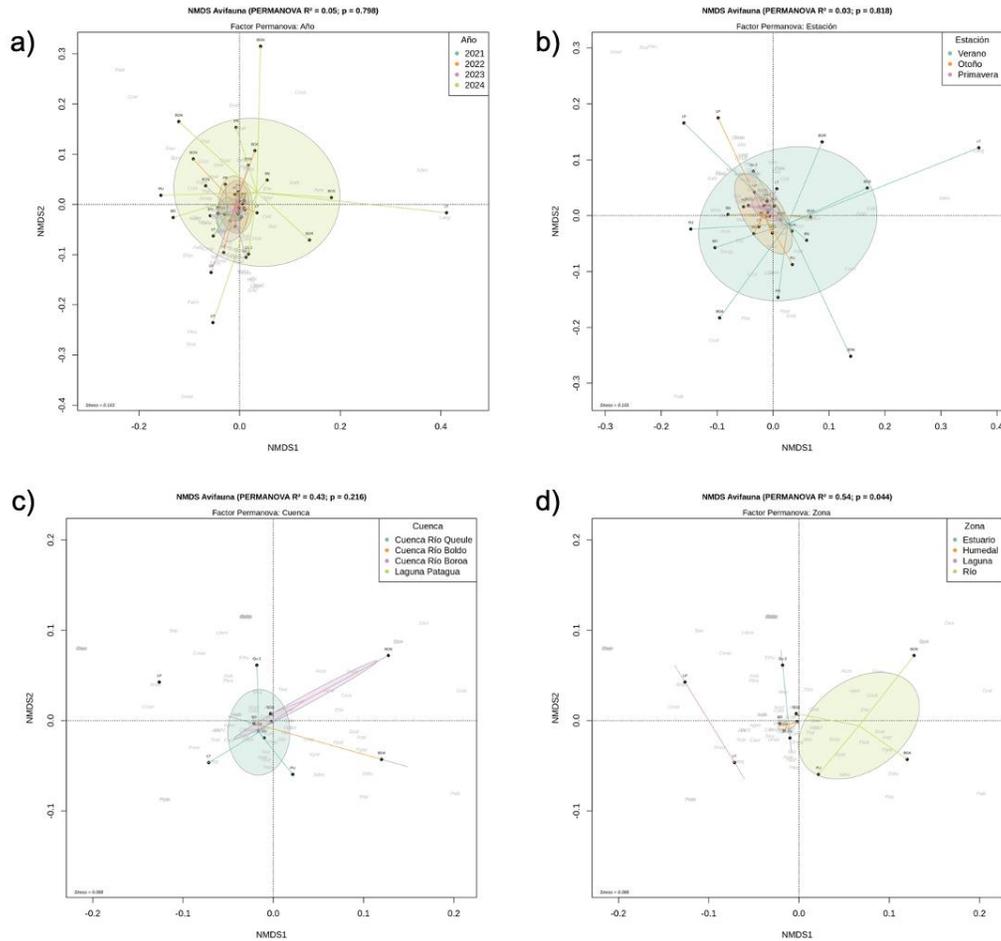
**Figura 144.** Número de observaciones (Abundancia) de especies de aves por sitio de monitoreo y estaciones climáticas. Elaboración propia.

Al analizar la diversidad de especies desde una perspectiva espacial, específicamente a nivel de las distintas cuencas, se observa que, por amplio margen, los sitios localizados en el río Queule registraron la mayor abundancia total de especies, con 3.299 individuos. Le sigue la cuenca del río Boroa, mientras que las cuencas del río Boldo y la laguna Patagua presentan niveles de abundancia similares, con 264 y 275 individuos, respectivamente (**Figura 145**).



**Figura 145.** Número de observaciones totales (Abundancia) de especies de aves por cuenca a través de todas las campañas de monitoreo. Elaboración propia.

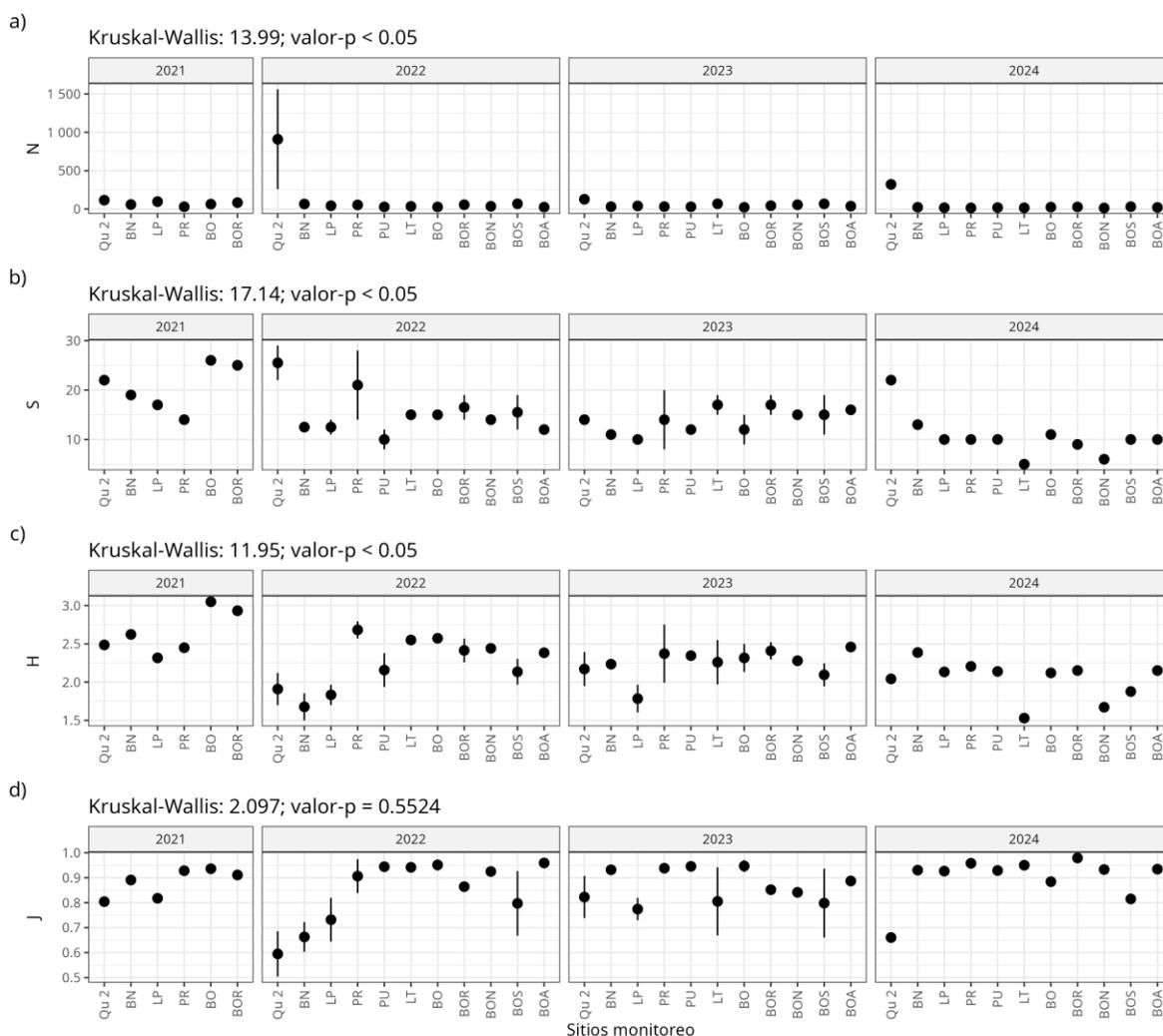
Los análisis de estructura comunitaria indican que no se observan diferencias significativas en la composición de especies ni a nivel anual (**Figura 146a**) ni en relación con las estaciones climáticas (**Figura 146b**), lo que sugiere que estos factores no influyen en la estructuración de la comunidad de aves del humedal. Sin embargo, los análisis realizados desde una perspectiva espacial muestran que, aunque no se observa una diferenciación clara en la estructura comunitaria entre las zonas alta y baja del sistema de humedal (**Figura 146c**), sí existe evidencia de que la composición de la comunidad de aves varía entre las zonas de estuario, humedal, laguna y río (**Figura 146d**). En particular, se destaca que las comunidades de río, estuario y laguna presentan diferencias en la composición de especies, tanto en términos de presencia como de abundancia.



**Figura 146.** Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxones registrados por campaña de monitoreo. Los puntajes corresponden a los sitios de monitoreo y las letras en gris corresponden a las siglas de las especies. En a) puntajes agrupados por Año, b) por Estación climática, en c) por Cuenca, y en d) agrupados por Zona. Sobre cada representación se entrega el resultado de la prueba PERMANOVA efectuada para la determinación de la significancia del agrupamiento de los puntajes. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

La comparación de los índices comunitarios entre los años de monitoreo indica que únicamente la uniformidad no presenta diferencias estadísticamente significativas entre los años (**Figura 147d**). La abundancia muestra niveles similares en general, aunque con diferencias promedio significativas entre años; se destaca la estación Qu\_2 como la que presenta las mayores abundancias, especialmente durante el año 2022 (**Figura 147a**). En términos de riqueza de especies (**Figura 147b**), no se observa un patrón claro. Se destaca que, en promedio, durante el año 2021 se registró la mayor riqueza de especies. Las campañas de 2022 y 2024 muestran patrones de riqueza de especies similares a lo largo de las estaciones, mientras que en 2023 los valores de este atributo fueron relativamente estables. La diversidad (**Figura 147c**) fue, en términos generales, mayor en las campañas realizadas en 2021. Durante 2022, se identificaron dos grupos de valores de diversidad: entre las estaciones Qu\_2 y LP se observaron valores bajos (por debajo de 2), mientras que, desde PR hasta BOA, los valores de diversidad fueron notablemente más elevados. Para los años 2023 y 2024, los valores de diversidad fueron altos y relativamente estables a lo largo de las estaciones, con algunas excepciones marcadas. Finalmente, la uniformidad mostró valores altos ( $J > 0,8$ ) en la mayoría de las estaciones, salvo en algunos casos puntuales (**Figura 147d**).

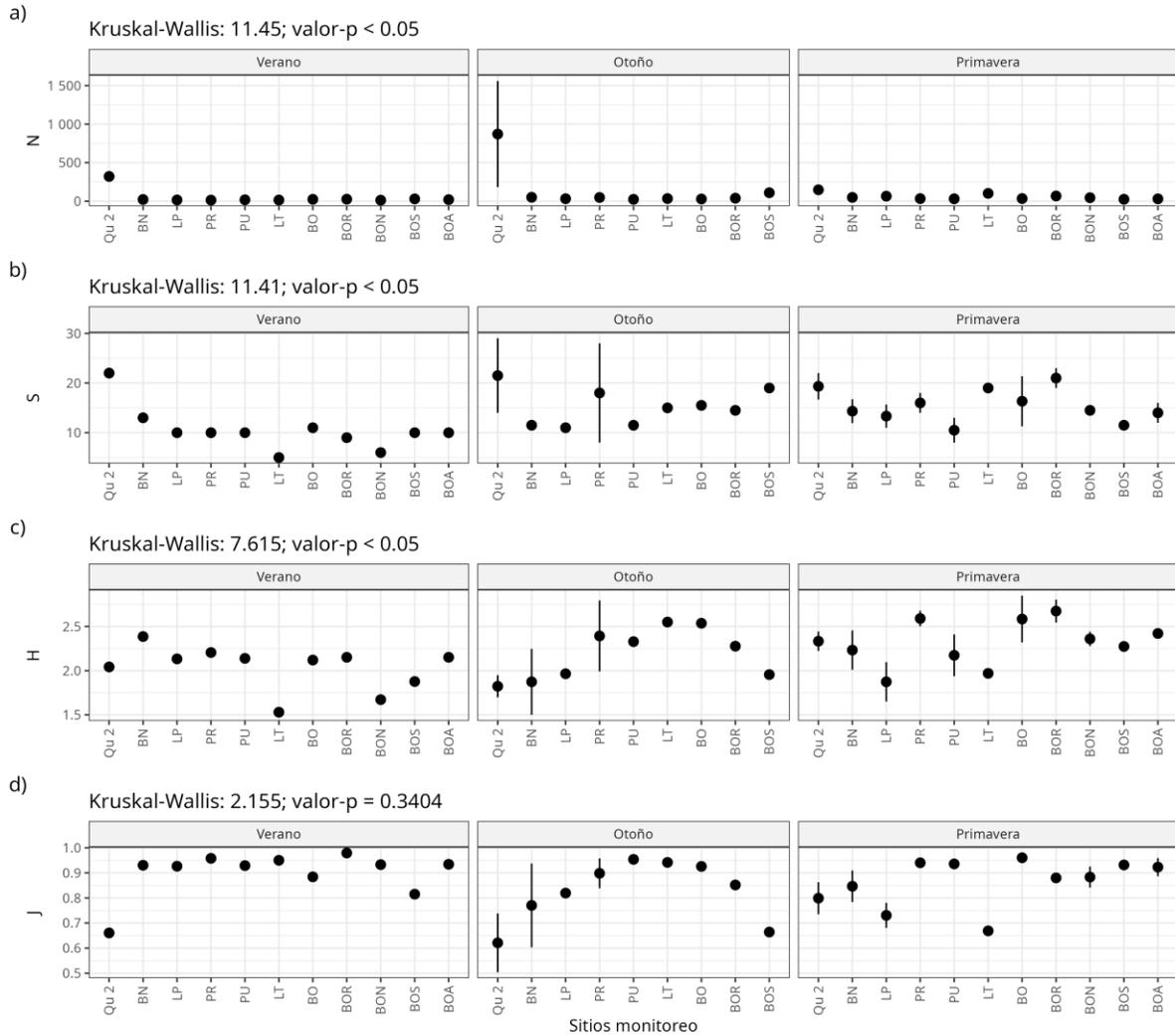
Factor: Año



**Figura 147.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por año y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre los años. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Desde una perspectiva estacional, la comparación de los índices indica que únicamente la uniformidad no presenta diferencias significativas entre las estaciones (**Figura 148d**). Al igual que en el análisis por año, la abundancia muestra niveles similares en general, aunque con diferencias promedio marcadas entre estaciones; se destaca la estación Qu\_2 por presentar las mayores abundancias, especialmente durante las campañas de verano y otoño (**Figura 148a**). En términos de riqueza de especies (**Figura 148b**), se observa una disminución notable desde Qu\_2 hasta BOA durante el verano, patrón que no se repite en las estaciones de otoño ni primavera. La diversidad (**Figura 148c**) exhibe patrones variados entre las estaciones, mostrando un patrón casi unimodal durante el otoño. Del mismo modo, la uniformidad sigue un patrón unimodal claro durante el otoño, patrón que no se observa en las otras estaciones, donde generalmente se presentan altos valores de uniformidad ( $J > 0,8$ ), salvo en algunos casos excepcionales (**Figura 148d**).

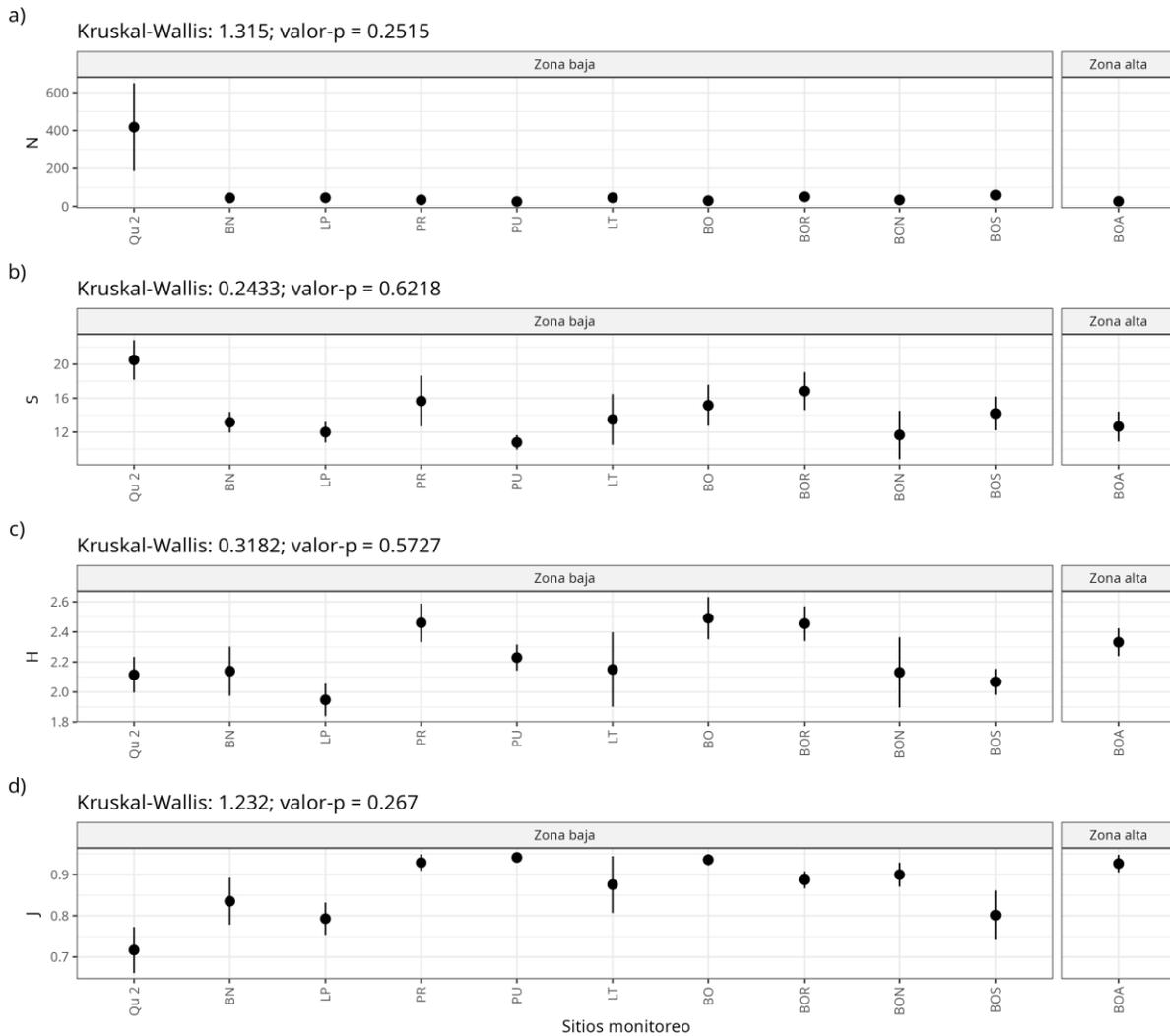
Factor: Estación



**Figura 148.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por estación climática y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las estaciones climáticas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

Al comparar los índices comunitarios a nivel espacial, específicamente en función de la zona altitudinal, ninguno de los índices muestra diferencias significativas entre estas zonas (**Figura 149**). La abundancia (**Figura 149a**) es similar entre la mayoría de las estaciones, excepto en el caso particular de la estación Qu\_2, que presenta la mayor abundancia, con 400 individuos. Por otro lado, los valores de riqueza de especies (**Figura 149b**) siguen un patrón similar al de la abundancia, con valores relativamente estables (entre 12 y 16 especies) en la mayoría de las estaciones, salvo en Qu\_2, donde aumentan notablemente, alcanzando 20 especies. La diversidad de especies (**Figura 149c**) muestra patrones más variables entre estaciones; en particular, las estaciones PR, BO y BOR exhiben los mayores niveles de diversidad, mientras que la laguna Patagua registra el valor más bajo. Finalmente, en cuanto a la uniformidad (**Figura 149d**), se observan patrones contrastantes entre estaciones: la uniformidad aumenta desde Qu\_2 hasta PU y luego disminuye en LT, siguiendo una curva de tipo unimodal. La estación BOA, en la zona alta, muestra niveles elevados y comparables a los altos niveles observados en las estaciones de la zona baja (PR, PU y BO).

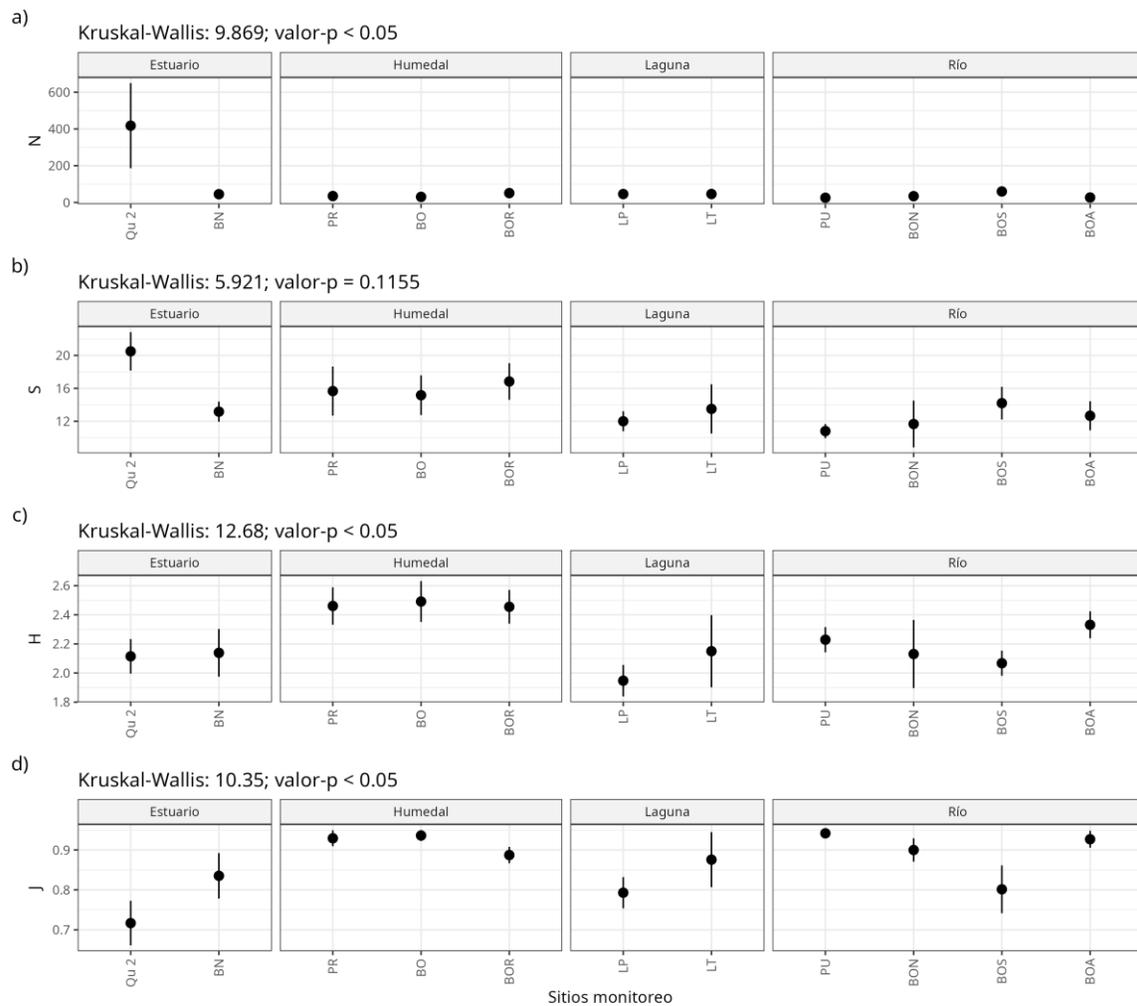
Factor: Zona altitudinal



**Figura 149.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por cuenca y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las cuencas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

La comparación de los índices por zonas (estuario, humedal, laguna y río) indica que únicamente la riqueza de especies no muestra diferencias significativas entre las zonas utilizadas (**Figura 150b**). La zona del estuario es, en promedio, la que presenta mayores niveles de abundancia (**Figura 150a**). En términos de riqueza de especies (**Figura 150b**), el estuario y el humedal son, en promedio, similares, del mismo modo, la laguna y el río muestran niveles de riqueza de especies comparables. En términos de diversidad (**Figura 150b**), el humedal presenta los mayores valores de diversidad, mientras que el estuario y la laguna muestran valores similares, aunque con mayor variación en esta última. El río exhibe un patrón en “U”, en el cual las estaciones de los extremos (PU y BOA) presentan los mayores valores, mientras que las estaciones intermedias (BON y BOS) muestran los valores más bajos. Finalmente, los valores de Uniformidad varían considerablemente entre zonas (**Figura 150d**). El humedal muestra los mayores valores de Uniformidad, mientras que el río presenta valores elevados ( $J > 0,9$ ) en todas las estaciones, excepto en BOS. El estuario y la laguna tienen estaciones con valores contrastantes de Uniformidad entre ellas.

Factor: Zona



**Figura 150.** Índices comunitarios calculados para cada sitio de monitoreo, agrupados por zona y representados en distintos paneles: a) Abundancia (N), b) Riqueza de especies (S), c) Diversidad de Shannon (H), y d) Uniformidad de Pielou (J). En cada gráfico se muestra el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis, utilizada para evaluar diferencias significativas en los índices entre las zonas. Valores de  $p < 0,05$  son considerados estadísticamente significativos. Elaboración propia.

## **5 RECOMENDACIONES PARA LA CONTINUIDAD DE LAS ACCIONES DE MONITOREO**

El presente apartado tiene como objetivo proponer un conjunto de recomendaciones orientadas a fortalecer los programas de monitoreo ambiental de los humedales piloto del Proyecto GEF Humedales Costeros, basadas en los hallazgos obtenidos durante el diagnóstico previo. Estas recomendaciones buscan mejorar la calidad, consistencia y representatividad de la información ambiental obtenidos, abordando las brechas identificadas en los actuales programas de monitoreo. Entre los principales desafíos observados se encuentran la variabilidad en la frecuencia y cantidad de datos registrados, así como la necesidad de fortalecer o ajustar los protocolos de monitoreo de ciertos componentes ambientales, y la falta de metadatos esenciales para la interpretación y validación de los resultados.

Este conjunto de recomendaciones busca fortalecer el diseño y ejecución de los programas de monitoreo en los humedales piloto, garantizando la recolección de datos consistentes, precisos y representativos para asegurar la sostenibilidad en el tiempo de los programas de monitoreo en humedales. Esto proporcionará información crítica para la gestión y conservación de los humedales costeros, y permitirá replicar estas acciones a nivel nacional, contribuyendo a la protección de los ecosistemas acuáticos del país.

### **5.1 Optimización del esfuerzo de monitoreo**

El diagnóstico identificó una variabilidad significativa en la cantidad y frecuencia de los registros de calidad de agua y biota en los distintos humedales piloto, atribuida a factores que afectaron la implementación del programa de monitoreo. Aunque el programa proponía una frecuencia regular de monitoreo, su aplicación no fue consistente en todos los sitios, lo que resultó en discontinuidades en la cantidad y calidad de los datos. Estas inconsistencias dificultan el análisis de tendencias y variaciones a lo largo del tiempo. Para superar este desafío, se recomienda asegurar una regularidad en el monitoreo, lo que permitirá construir una serie temporal robusta, generar datos consistentes y facilitar el análisis comparativo entre los diferentes humedales.

De manera de contribuir una gestión más eficiente de los recursos disponibles para el monitoreo, se sugiere focalizar los esfuerzos de monitoreo mediante la selección de sitios de monitoreos característicos de cada hábitat o zona de la cuenca, lo que permitirá una mayor representatividad de los ecosistemas monitoreados y asegurará que los esfuerzos se concentren para mantener la

intensidad y la calidad de los datos. En cuanto a la frecuencia temporal, se recomienda mantener el monitoreo de la calidad de agua de manera mensual y el monitoreo de la biota trimestralmente. Esta combinación de frecuencias facilitará la identificación de tendencias a lo largo del tiempo y permitirá una respuesta oportuna ante cualquier cambio significativo en el estado ambiental, permitiendo captar variaciones estacionales y responder a eventos puntuales que puedan afectar la calidad del agua, como lluvias intensas, cambios en la temperatura, o actividades agrícolas cercanas. Asimismo, la frecuencia trimestral para el monitoreo biológico garantizará la recolección de datos en diferentes momentos del ciclo biológico de las especies.

## **5.2 Mantenimiento y capacitación de equipos de medición**

Para garantizar la precisión y fiabilidad de los datos obtenidos, se recomienda implementar un programa de mantenimiento regular y capacitación específica para el uso de equipos de medición sensibles, como las sondas multiparamétricas. Durante el análisis de datos, se observaron de forma recurrente datos atípicos que podrían estar relacionadas con problemas en la lectura de los equipos. En particular, el oxígeno disuelto (OD) es un parámetro sensible que requiere que el sensor mantenga condiciones específicas para proporcionar mediciones precisas. Por lo tanto, se sugiere ofrecer capacitación continua a los operadores sobre el manejo adecuado, la calibración y el mantenimiento de estos equipos. Esta medida ayudará a reducir la ocurrencia de datos anómalos y asegurar que las mediciones reflejen con precisión el estado real de los ecosistemas acuáticos.

## **5.3 Estandarización de protocolos de monitoreos**

Dado que en las bases de datos de los monitoreos ambientales no se encontró información que permitiera trazar los métodos de monitoreo, es fundamental establecer un marco robusto que garantice la calidad, trazabilidad y replicabilidad de los datos recolectados. Si bien se han desarrollado métodos de recolección de datos para el monitoreo ambiental en algunos humedales piloto, se requiere una implementación estandarizada de los protocolos de monitoreo, los cuales deben estar adaptados a las condiciones ambientales particulares de cada humedal y a las características propias de cada grupo biológico. Es esencial que las técnicas de monitoreo sean consistentes a lo largo del tiempo y puedan ser aplicadas por diversas entidades de muestreo, lo que permitirá garantizar la comparabilidad y validez de los datos.

Además, los protocolos deben ser lo suficientemente detallados para incluir información precisa sobre los métodos de captura u observación, el esfuerzo de monitoreo, los equipos utilizados, el área muestreada, los métodos de conservación (como la fijación de muestras biológicas) y las unidades de medida de los registros. Este nivel de detalle es esencial no solo para garantizar que la recolección y el procesamiento de los datos se realicen de manera consistente, sino también para facilitar la replicabilidad de los estudios y la comparabilidad entre diferentes monitoreos. Al estandarizar estos aspectos, se minimiza la aparición de datos atípicos, que a menudo son el resultado de inconsistencias en el levantamiento de datos en terreno. Esta conclusión se basa por la detección de resultados anómalos durante el análisis de los datos recolectados, los cuales pueden estar relacionados con limitaciones instrumentales, fallos metodológicos o variabilidad no controlada en el proceso de muestreo. Implementar protocolos rigurosos y bien definidos contribuye, por tanto, a mejorar la calidad y confiabilidad de los datos obtenidos.

#### **5.4 Registro de metadatos**

La ausencia de metadatos en algunos de los registros recopilados, como información sobre entidades responsables de los monitoreos, especialistas en taxonomía, laboratorios, y certificados de análisis, dificulta la interpretación y validación de los datos. Se recomienda incorporar el registro de metadatos asociados a los programas de monitoreo, lo que no solo mejorará la integridad de los datos proporcionando un contexto claro sobre la calidad y la precisión de los resultados, sino que asegura la trazabilidad de la información, permitiendo integrar estos registros en sistemas centralizados de monitoreo ambiental, facilitando su uso a largo plazo.

El análisis de brechas revela que los metadatos solicitados por el Sistema Red de Monitoreo del MMA (**Tabla 1** y **Tabla 2**) no están completamente disponibles en las bases de datos ambientales de los humedales piloto. En particular, hay una falta de información necesaria para interpretar de manera óptima los datos de biodiversidad. Aunque estos datos están presentes en los informes técnicos específicos de cada grupo biológico, no se encuentran disponibles de manera sistemática en las bases de datos de los monitoreos ambientales de cada sitio piloto.

Por su parte, las bases de datos de calidad de agua no estuvieron acompañadas por informes emitidos por laboratorios debidamente acreditados, lo que limita la capacidad de validar la precisión y exactitud de los resultados obtenidos, generando incertidumbre sobre su calidad. Para subsanar esta situación, se sugiere que todos los informes de análisis correspondientes se

adjunten de forma sistemática a los registros de monitoreo, asegurando que se detallen las técnicas analíticas utilizadas, los límites de detección y las acreditaciones de los laboratorios, en caso de contar con ellas. Esto proporcionará un contexto más claro sobre la validez de los resultados y permitirá una mejor evaluación de la calidad de los datos.

Si bien se han detectado brechas en las bases de datos de los monitoreos ambientales, principalmente relacionadas con la falta de metadatos consistentes en algunos registros, la información requerida por el Sistema Red de Monitoreo de Ecosistemas Acuáticos resulta suficiente para interpretar los resultados y asegurar su trazabilidad.

### **5.5 Ampliación de parámetros de calidad de agua**

En los cinco humedales piloto se llevó a cabo un monitoreo continuo de parámetros fisicoquímicos medidos in situ. Sin embargo, la mayoría de estos sitios carece de datos suficientes para evaluar la calidad del agua en relación con contaminantes derivados de actividades antrópicas. Esto se debe principalmente al alto costo de dichos análisis, lo que llevó a que solo se considerara el presupuesto adecuado para cubrir estos estudios en un ecosistema piloto, que fue el Humedal del Río Elqui. Este humedal, debido a sus características particulares y a las amenazas identificadas, presentó campañas de monitoreo que incluyeron la evaluación de parámetros analizados en laboratorio, tales como nutrientes, metales y parámetros biológicos. Por lo tanto, para mejorar la evaluación de la calidad ambiental de los humedales, se recomienda asignar un presupuesto adecuado que permita ampliar la batería de parámetros de calidad de agua monitoreados. Esto debe incluir el análisis de compuestos clave, como agroquímicos, metales pesados y nutrientes, que reflejen el grado de presión que estas actividades ejercen sobre el ecosistema.

Para abordar el último punto, se recomienda llevar a cabo el monitoreo de nutrientes, especialmente nitratos y fosfatos, que son componentes comunes en los fertilizantes utilizados en la agricultura. La presencia de estos nutrientes en niveles elevados en cuerpos de agua puede ser un indicador claro de la aplicación de fertilizantes en áreas circundantes. El análisis de estos nutrientes representa costos menores en comparación con el monitoreo de agroquímicos específicos, y su monitoreo permitirá obtener indicios sobre las actividades agrícolas que impactan los humedales, con menor inversión económica, mientras se sigue evaluando la calidad ambiental del ecosistema.

## **5.6 Monitoreo de grupos biológicos**

La evaluación integral de los ecosistemas pilotos no puede depender únicamente del monitoreo de ciertos parámetros fisicoquímicos o grupos biológicos particulares. Es necesario incluir una visión más amplia que capture la complejidad y diversidad de estos ecosistemas, donde grupos biológicos acuáticos como el fitoplancton y zooplancton son organismos esenciales en los ecosistemas, y que actúan como indicadores sensibles a cambios en la calidad del agua, ya que su presencia y abundancia reflejan directamente las condiciones ambientales del ecosistema. Además, es recomendable incorporar el monitoreo de especies que presentan algún grado de problema de conservación. Al incluirlos en los programas de monitoreo, se puede obtener una evaluación más completa de la biodiversidad, y detectar cambios ecológicos más sutiles para mejorar la capacidad de respuesta ante posibles amenazas ambientales que afecten a estas especies.

Asimismo, es posible aprovechar los datos de grupos biológicos, como los macroinvertebrados bentónicos, que son ampliamente utilizados como bioindicadores debido a su alta susceptibilidad a cambios ambientales, para realizar índices de calidad de agua. La sinergia entre los datos biológicos y fisicoquímicos permitirá realizar análisis integrales que consideren múltiples factores que puedan estar afectando la salud del ecosistema.

## **5.7 Implementación de indicadores de éxito para la gestión adaptativa**

Se recomienda desarrollar un conjunto integral de indicadores de éxito que permita evaluar periódicamente la efectividad de los programas de monitoreo y su contribución a la conservación de los humedales. Estos indicadores deben incluir mejoras en la calidad del agua, incremento de la biodiversidad, gobernanza de humedales y reducción o mitigación de impactos antrópicos. La integración de estos indicadores permitirá que los programas de monitoreo sean sensibles a las nuevas amenazas y se ajusten adecuadamente a cambios emergentes, como el cambio climático. Además, la gestión adaptativa basada en estos indicadores permitirá ajustar y mejorar los programas de monitoreo conforme se obtengan nuevos datos y se identifiquen nuevas presiones, asegurando una conservación efectiva de los humedales.

## 6 DISCUSIÓN

El análisis de los resultados obtenidos de los monitoreos ambientales del proyecto GEF Humedales Costeros revela importantes hallazgos sobre el estado de los humedales costeros pilotos del proyecto.

El uso del Sistema Red de Monitoreo de Ecosistemas Acuáticos, proporcionado por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), ha sido un avance crucial para la homogenización de los formatos de datos obtenidos en los monitoreos ambientales de los humedales costeros. Este sistema permite unificación y estandarización de la forma en que se registran los datos sobre calidad de agua y biota, asegurando que la información recolectada sea coherente y comparable, lo que mejora la eficiencia en el acceso a la información. Este sistema centralizado proporciona una plataforma accesible y estructurada que permite que los datos no solo sean almacenados de manera segura, sino también consultados y utilizados por diferentes actores involucrados en la gestión ambiental.

La recopilación y sistematización de los datos de calidad de agua y biodiversidad, utilizando plataformas como SIMBIO y GBIF, fue clave para garantizar la coherencia taxonómica y la integración de los resultados en estándares internacionales. No obstante, la limitación en la información taxonómica disponible en SIMBIO destaca la necesidad de fortalecer las bases de datos nacionales y garantizar su actualización continua, particularmente para ecosistemas de alta diversidad y relevancia ecológica como los humedales costeros.

Una de las principales observaciones derivadas del diagnóstico de la información de los programas de monitoreo es la variabilidad significativa en la cantidad y frecuencia de los registros de calidad de agua y biota en los ecosistemas piloto del proyecto. Esta falta de uniformidad compromete la consistencia de los datos y limita la capacidad para realizar análisis de las tendencias a lo largo del tiempo. Para mejorar el diseño de los programas de monitoreo es fundamental establecer una frecuencia regular y estandarizada de monitoreo en todos los sitios piloto, garantizando una serie temporal robusta y datos comparables.

En consideración al diagnóstico de los programas de monitoreo, surge una serie de recomendaciones que buscan mejorar la consistencia y calidad de los datos recopilados, optimizar los recursos disponibles, y fortalecer la capacidad de los programas para evaluar el estado ambiental de los humedales costeros, asegurando su continuidad y mejora. Estas recomendaciones incluyen el establecimiento de una frecuencia regular de monitoreo, la

implementación de programas de mantenimiento y capacitación para equipos de medición, y el refuerzo de los protocolos estandarizados de monitoreo, para asegurar su cumplimiento en cada humedal piloto. Además, se propone ampliar los parámetros de calidad de agua monitoreados y la incorporación de metadatos obligatorios para mejorar la trazabilidad de los estudios. También se destaca la creación de indicadores que permitan medir cambios en la calidad del agua y la biodiversidad, así como la reducción o aumento de impactos antrópicos, lo que facilitará una gestión adaptativa de los humedales en respuesta a nuevas amenazas.

## 7 CONCLUSIONES

### 7.1 Humedal Desembocadura Río Elqui

En la parte alta de la zona monitoreada del Humedal del río Elqui (Elq\_1 a Elq\_5), la calidad del agua se caracteriza por niveles relativamente bajos de conductividad eléctrica, temperatura y sólidos disueltos. Sin embargo, esta parte de la cuenca se asocia a niveles relativamente altos en pH. Estos valores indican una menor alteración en la calidad del agua en comparación con las zonas media y baja monitoreadas. Esta zona, según la información obtenida en el diagnóstico de fuentes puntuales y difusas de contaminación (MMA-ONU Medio Ambiente, 2002), presenta algunas fuentes difusas de pasivos mineros y agricultura (sitios GEFE02 a GEFE05).

De igual forma, para la parte alta de la zona de monitoreo, se observa una abundancia elevada de macroinvertebrados bentónicos, especialmente en los sitios Elq\_1, Elq\_3 y Elq\_4, con altos niveles de diversidad y riqueza. También presenta una significativa concentración de quirópteros, con 126 individuos registrados en Elq\_3. Asimismo, esta zona presenta la mayor abundancia de anfibios para todo el humedal. Sin embargo, la biodiversidad de ictiofauna y avifauna es más limitada, con una escasa representación de especies. El fitobentos muestra densidades relativamente bajas, sugiriendo una menor productividad primaria en esta zona. A pesar de su alta riqueza en algunos grupos, la zona alta, en general, presenta una biodiversidad más moderada en comparación con las zonas media y baja.

La parte media de la zona monitoreada del Humedal de río Elqui (Elq\_6 a Elq\_9) presenta niveles moderados en los parámetros analizados, con concentraciones más altas de temperatura y sólidos en suspensión en comparación con la zona alta, sin embargo, presenta niveles menores a los registrados en la parte baja. Asimismo, las concentraciones de nutrientes, como nitrógeno total, nitrógeno Kjeldahl, nitrato, también son más altas en comparación con la zona alta y baja. Según MMA-ONU Medio Ambiente (2002), esta parte de la cuenca (GEFE06 a GEFE09), presenta fuentes difusas de pasivos mineros (relaves y faenas), plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS), y corte de continuidad del cauce natural.

Respecto a la biodiversidad, la zona media destaca por su alta riqueza en fitobentos, con predominancia de los géneros *Achnanthydium* y *Brachysira*, lo que sugiere una alta productividad primaria. La abundancia de ictiofauna también es notable, con el sitio Elq\_8 mostrando la mayor abundancia de peces. Para los grupos biológicos de avifauna y macroinvertebrados bentónicos, la parte media presenta una diversidad baja.

La parte baja del Humedal del Río Elqui (Elq\_10 a Elq\_13) muestra las concentraciones más elevadas de temperatura y sólidos disueltos, lo que indica una considerable influencia de las dinámicas hidrológicas asociadas a zona de potamón (flujo de agua más lento y menos turbulento, típico de desembocadura de ríos), y factores antropogénicos. La conductividad eléctrica, igualmente es mayor en esta zona, lo que evidencia la influencia marina en la zona baja del río Elqui. En general, las concentraciones de nutrientes y metales también son más altas en la zona baja, sugiriendo una acumulación de contaminantes. Según estudio del MMA-ONU Medio Ambiente (2002), la zona baja (GEFE010 a GEFE013) presenta impactos asociados a fuentes difusas urbanización, extracción de áridos, basurales, plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS), y descargas de emergencias de plantas de saneamiento.

En contraparte, la parte baja del Humedal del Río Elqui también es la zona más rica en biodiversidad avifaunística, con la mayor cantidad de avistamientos y diversidad de especies, especialmente durante verano. El fitobentos también muestra una densidad alta, con una notable presencia de los géneros *Achnanthis* y *Brachysira*, aunque la riqueza de especies es variable. La abundancia de anfibios y peces es moderada en comparación con la zona media, con una baja riqueza taxonómica en los sitios más cercanos a la desembocadura (Elq\_13). Los macroinvertebrados bentónicos de esta zona presentan valores más bajos en comparación con las zonas alta y media. Por su parte, los quirópteros muestran una menor abundancia en comparación con la zona alta, representada únicamente por una especie (*Tadarida brasiliensis*).

## 7.2 Humedal Mantagua

En la cuenca alta del humedal Mantagua (Man\_1 y Man\_2 en monitoreo de calidad de agua;), los resultados indican un ambiente relativamente estable con concentraciones promedio de parámetros que sugieren una buena calidad del agua. La temperatura y la conductividad se mantienen en niveles bajos, mientras que los niveles de oxígeno disuelto presentan niveles que aseguran condiciones adecuadas para la vida acuática.

La avifauna presente en la zona alta (Man\_7 a Man\_9 en monitoreo de biota) mostró una riqueza de alrededor de 12 especies, aunque con una abundancia moderada a lo largo de las campañas ( $N > 75$ ), siendo menor en comparación con la zona baja. La ictiofauna es dominada por especies como *Gambusia holbrooki* y *Cnesterodon decemmaculatus*, con una abundancia moderada. Los macroinvertebrados presentan una diversidad de géneros baja, destacando únicamente el género *Cricotopus* en términos de abundancia.

En contraste, la zona baja muestra una calidad de agua (Man\_3 en monitoreo de calidad de agua) con cierto grado de alteraciones respecto a los resultados obtenidos en parte alta, con concentraciones elevadas en varios parámetros. Los niveles de pH son, en términos generales, mayores a las zonas aguas arriba, al igual que la conductividad, salinidad y sólidos disueltos, lo cual es característicos de zonas de desembocadura.

La zona baja muestra una mayor variabilidad en los datos de biodiversidad (Man\_4 a Man\_6 en monitoreo de biota), con una notable diferencia en comparación con la parte alta del humedal. La avifauna revela niveles elevados de abundancia, destacando especies como *Leucophaeus pipixcan*, mientras que la abundancia de la ictiofauna es equiparable a la registrada en la zona alta, con niveles moderados. La abundancia de macroinvertebrados es moderada, con una predominancia del género *Chironomus*.

La albufera (Man\_4 en monitoreo de calidad de agua), evaluada como un sistema independiente del humedal Mantagua, presenta un perfil de calidad de agua distintivo. Sus parámetros reflejan una dinámica particular, caracterizada por niveles generalmente más altos de temperatura y oxígeno, así como menores concentraciones de sólidos suspendidos y conductividad, exhibiendo un comportamiento intermedio entre la parte alta (zona fluvial) y la parte baja (zona estuarina).

De manera similar, la albufera (Man\_1 a Man\_2 en el monitoreo de biota) registra los mayores niveles de abundancia de macrofauna, con una notable predominancia del género *Herpetocypris*. Asimismo, en esta zona se observa una alta abundancia de ictiofauna, destacando particularmente la especie *Gambusia holbrooki*.

Cabe destacar que las conclusiones sobre la calidad del agua se basan en el análisis de la serie temporal que abarca desde finales de 2021 hasta abril de 2024. Este periodo permite evaluar tendencias y variaciones estacionales en los parámetros fisicoquímicos, proporcionando una visión de los cambios en la calidad del agua a lo largo del tiempo.

La diversidad de macroinvertebrados bentónicos presenta una correlación estadísticamente significativa y negativa con el pH y la saturación de oxígeno. En el caso de la ictiofauna, la diversidad se relaciona negativamente con múltiples parámetros de calidad de agua, como la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, sólidos suspendidos, salinidad

y pH. De manera similar, la diversidad de avifauna también muestra correlaciones negativas significativas con los mismos parámetros.

En cuanto a la abundancia, tanto los macroinvertebrados bentónicos, como la ictiofauna y la avifauna, muestran una correlación positiva y estadísticamente significativa con la concentración y saturación de oxígeno disuelto. Este patrón es especialmente notable en los macroinvertebrados durante la campaña de primavera, indicando que los niveles adecuados de oxígeno favorecen no solo la diversidad, sino también el incremento en la cantidad de individuos en las comunidades estudiadas.

Es importante destacar que las correlaciones se basaron exclusivamente en los datos obtenidos durante la serie temporal de 2022, ya que este fue el año con el que se dispuso de información para contrastar los parámetros de calidad de agua y biodiversidad.

### **7.3 Humedal Cáhuil**

En la cuenca alta del humedal Cáhuil (Cah\_1 y Cah\_2), la calidad del agua presenta características distintivas respecto a la zona baja y media. El parámetro de conductividad eléctrica es relativamente bajo, lo que indica una menor o nula influencia marina en comparación con otras áreas del humedal. El oxígeno disuelto se mantiene en niveles altos, mientras que el pH presenta rango moderado y estable. La temperatura del agua muestra variaciones claramente estacionales, con los niveles más altos observados durante el verano.

La abundancia de macrofauna registrada en la cuenca alta es considerable, siendo particularmente alta para todos los taxones registrados, destacando el género *Alia* con una densidad superior a 1.000 individuos/m<sup>2</sup>. Respecto a la riqueza de especies, presentó los mayores niveles, particularmente en el sitio Cah\_1 con S=7,5. La ictiofauna tiene abundancia moderada en esta zona, destacando únicamente la abundancia observada por la especie *Odontesthes regia*, además de presentar niveles moderados en cuanto a riqueza de especies (S~2,25). La avifauna, por su parte, presentó los menores niveles de abundancia registrados en comparación con la zona media y baja.

En la cuenca media del humedal Cáhuil (Cah\_3, Cah\_6 y Cah\_7), los parámetros de calidad del agua muestran una transición entre las zonas alta y baja. La conductividad eléctrica es intermedia, indicando un aumento respecto a la cuenca alta. El pH se mantiene en un rango intermedio, con

una ligera tendencia a valores más altos en comparación con la cuenca alta, mientras que la salinidad igualmente es moderada, con registros de aproximadamente 15 PSU. La temperatura del agua también muestra variaciones estacionales en esta cuenca.

Los indicadores de biodiversidad presentan patrones variados para la cuenca media. La abundancia de avifauna muestra niveles altos respecto a la zona alta y baja, con una variación de 300 y 500 individuos entre sitios, donde se destaca ampliamente los registros de *Fullica amarillata*. La riqueza de aves es alta en dos sitios, alcanzando un máximo de 30 especies registradas en Cah\_3. La ictiofauna presentó una abundancia alta ( $N > 100$ ), dado principalmente a los registros de la especie *Odontesthes regia*. En contraste, la macrofauna tuvo una baja representación, registrando menores niveles de abundancia y riqueza con respecto a la cuenca alta.

En la cuenca baja (Cah\_4 y Cah\_5), los parámetros de calidad del agua reflejan una alta influencia de la salinidad con registros superiores a 66 PSU, la conductividad eléctrica es notablemente alta, con valores que superan los 75.000 uS/cm, mientras que el oxígeno disuelto, en general, es más bajo en comparación con las cuencas alta y media. El pH es más alto, alcanzando un nivel de hasta 9,0, lo que sugiere un ambiente más alcalino. La temperatura muestra una variabilidad estacional similar a las otras cuencas, con los valores más altos durante el verano.

La biodiversidad muestra una menor abundancia de avifauna en comparación con la cuenca media, con una variación entre 200 y 400 individuos, destacando los registros de la especie *Fullica amarillata*. La riqueza fue moderada en Cah\_4 alcanzando un nivel cercano a 30 especies. La ictiofauna y la macrofauna registrada presentó niveles los niveles más bajos en términos de abundancia y riqueza en comparación con la zona alta y media.

#### **7.4 Humedal Rocuant Andalién**

En la parte alta del sistema Rocuant (Roc\_1, Roc\_2, PAIB) se presenta una conductividad eléctrica baja respecto a la zona baja del sistema (sector desembocadura), mientras que la salinidad muestra, en términos generales, niveles bajos (0,4 a 1,2 PSU), sin embargo, en Roc\_2 presenta un registro que supera los 60 PSU durante 2022. La temperatura en la parte alta sigue un patrón estacional similar al de otras cuencas, con incrementos en los meses cálidos.

La avifauna muestra una baja abundancia de especies, y una riqueza moderada con cerca de 35 especies registradas. De igual forma, la macrofauna presentó niveles bajos para esta zona, al igual que la ictiofauna, que no tuvo mayor presencia de especies ( $S = 2$ ).

En la parte media del sistema Rocuant (Roc\_3, Roc\_4, Roc\_5, VDG), se observa un comportamiento similar al registrado en la parte alta, evidenciado por el análisis de componentes principales. En esta zona, se observa una mayor riqueza de especies ícticas en comparación con la cuenca alta, con un total de tres especies. La avifauna tuvo niveles moderados de riqueza ( $S = 30$ ), menores en comparación con la cuenca alta, no obstante, la abundancia fue la menor para todas las zonas. La cuenca media de Rocuant presentó la mayor abundancia total de macrofauna, cercana a 30 individuos, dado principalmente por la presencia del género *Hyalella*. En contraste, la riqueza de macrofauna fue la menor de toda la cuenca.

En la parte baja del sistema Rocuant (Roc\_6, CAI), muchos parámetros presentan valores elevados. Particularmente la conductividad eléctrica es significativamente más alta, con máximos de hasta 33120  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El oxígeno disuelto presenta concentraciones más bajas que la parte media y alta. La salinidad y los sólidos suspendidos totales tienen los mayores registros de toda la cuenca. En la cuenca baja del humedal Rocuant, se presentaron niveles moderados de abundancia y riqueza de avifauna ( $N \sim 2500$ ;  $S = 35$ ), al igual que la macrofauna ( $N \sim 35$ ;  $S = 3$ ), mientras que la ictiofauna solo estuvo presente en la campaña de verano 2023, registrando tres especies.

En la parte alta del Río Andalién (RAV, RA-EN), la biodiversidad muestra una abundancia y riqueza moderada para macrofauna ( $N = 40$ ;  $S = 2$ ). Esta cuenca destaca al presentar la mayor riqueza de ictiofauna, particularmente en el RA-EN, con seis especies observadas. Además, se presentaron los mayores niveles de abundancia y riqueza de avifauna ( $N \sim 10.000$ ;  $S < 40$ ), destacando ampliamente respecto al resto de la cuenca, esto debido a la densidad registrada por la especie *Leucophaeus pipixcan*. La macrofauna presentó niveles moderados de abundancia ( $N \sim 40$ ), sin embargo, registró los mayores niveles de riqueza de toda la cuenca ( $S < 4$ ). La ictiofauna tuvo una representación moderada, con registros únicamente en la campaña de otoño 2022 ( $S = 4$ ).

## 7.5 Humedal Queule

El río Boldo (BO, BOA) se caracteriza por presentar niveles bajos en prácticamente todos los parámetros de calidad de agua. El río Boldo presentó niveles intermedios de macroinvertebrados, con una abundancia entre 10 y 20 individuos por sitio de monitoreo, y una riqueza entre 2,5 y 5,0, donde destaca la familia Leptophlebiidae. La abundancia de ictiofauna es baja respecto al resto de la cuenca. Los niveles de abundancia de avifauna son bajos para esta zona.

El río Boroa (BOR, BOS, BON), presentó niveles moderados en términos de calidad de agua. Particularmente, la conductividad eléctrica presentó un registro máximo alcanzado los 30.990 uS/cm (BOR). La cuenca del río Boroa destaca por las mayores abundancias de macroinvertebrados, dado principalmente por los registros de la familia Leptophlebiidae. Esta zona, registró la mayor abundancia y riqueza de especies de macroinvertebrados con niveles  $N = 40$  y  $S = 7,5$  (ambos en el sitio BON). La ictiofauna presentó niveles moderados, donde destaca la presencia de *Brachygalaxias bullocki* por su nivel de abundancia. Los niveles de abundancia de avifauna son bajos para esta zona.

La cuenca del río Queule (Qu\_2, BN, PR, PU, LT) presentó, en términos generales los mayores niveles de los parámetros medidos, destacando los niveles de conductividad que alcanzaron los 48.350 uS/cm, al igual que los sólidos suspendidos que alcanzaron un máximo de 24.170mg/l. Respecto a la riqueza y abundancia de macrofauna registrada para la cuenca del río Queule, los mayores niveles se registraron en el sitio en PU ( $N > 20$ ;  $S \sim 7,5$ ). La abundancia de ictiofauna en el sitio Qu\_2 es una de las mayores registrada para toda la cuenca, destacando las especies *Odontesthes brevianalis* y *Galaxias maculatus*. Los niveles de abundancia y riqueza de avifauna son los mayores para esta zona, particularmente en Qu\_2 ( $N > 400$ ;  $S > 20$ ), destacando ampliamente la presencia de *Chroicocephalus maculipennis*.

La laguna Patagua (LP), evaluada como un sistema independiente del humedal Queule, no tuvo un comportamiento tan distintivo respecto al humedal. Presentó, de forma particular, la mayor temperatura con 25,46°C. En términos de biodiversidad, presentó niveles intermedios de macrofauna, menores en relación a la cuenca del río Boldo y Boroa. La ictiofauna destaca por los niveles de abundancia de las especies *Galaxias maculatus* y *Basilichthys microlepidotus*, lo que le confiere la mayor abundancia registrada en toda la cuenca. Los niveles de abundancia de avifauna son bajos para esta zona.

## 8 REFERENCIAS

Abarca, F. J. 2007. Técnicas para la evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos, p. 113-144.

Anderson, M.J. (2001), A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26: 32-46. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x>.

Cayuela, L. 2011. Análisis Multivariante. Área de Biodiversidad y Conservación, Universidad Rey Juan Carlos. Madrid, España. 26 pp.

Colin, N. 2024. Evaluación espacio-temporal de la fauna íctica del humedal del río Queule. 31pp. Revisado en <https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/08/Evaluacion-espacio-temporal-de-la-fauna-ictica-del-humedal-del-rio-Queule-.pdf>

Contreras, M., Zulueta, R., Fariña, J. M., & Larraguibel, G. 2021. Informe final Propuesta Técnica delimitación del Humedal de Mantagua e identificación de áreas prioritarias a restaurar en la cuenca asociada. Dinámica Costera.

Cowardin, L. M., Carter, V., Golet, F.C. & E.T. 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. U.S. Fish and Wildlife Service. FWS/OBS-79/31. Washington, DC.

Figuroa, R., Suarez, M. L., Andreu, A., Ruiz, V. H., & Vidal-Abarca, M. R. 2009. Caracterización ecológica de humedales de la zona semiárida en Chile Central. *Gayana (Concepción)*, 73(1), 76-94.

Figuroa, A., Lictevout, E., Rojas, C., Tapia, D., Daroch, S., Cáceres, R. 2021. Delimitación y caracterización de usos del Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes, Región de Coquimbo. Informe Final. Ministerio del Medio Ambiente-Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Ibarra, J., Latuz, H., Herreros, J., Silva, C., Solis, K., & Ulagnero, A. 2022. Proyecto GEF Humedales Costeros.

Ibáñez G. & J. Sepúlveda. 2022. Aproximación a la Fauna de Vertebrados del humedal de Mantagua. En: Flores L., M. Contreras, R. Figuroa y A. Arenas (Eds.) Humedal costero de Mantagua. Un lugar para la conservación de la biodiversidad en Chile Central. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Valparaíso, Chile. 133-166 pp.

Jolliffe, IT. 2002. Principal Component Analysis. Springer Series in Statistics. New York: Springer-Verlag.

Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. Ecological economics, 35(1), 25-33.

Ministerio del Medio Ambiente. 2021. Sistema de Gestión de Humedales Urbanos. Res. MMA N°960 del 03 de septiembre de 2021. N° Expediente: HU-0085 Desembocadura Río Elqui. Revisado en <https://sistemahumedales.mma.gob.cl/OficioHU/DetailsPublico/34>

Ministerio del Medio Ambiente. 2021. Sistema de Gestión de Humedales Urbanos. N° Expediente: HU-0100 Mantagua. Revisado en <https://sistemahumedales.mma.gob.cl/HumedalesUrbanos/DetailsPublico/67>

Ministerio del Medio Ambiente. 2022. Sistema de Gestión de Humedales Urbanos. N° Expediente: MU-08-192 Rocuant Andalién-Talcahuano. Sistema de Gestión de Humedales Urbanos. Revisado en <https://sistemahumedales.mma.gob.cl/HumedalesUrbanos/DetailsPublico/192>

Ministerio del Medio Ambiente. 2022. N° Expediente: MU-08-187 Humedal Rocuant Andalién-Penco. Sistema de Gestión de Humedales Urbanos. Revisado en <https://sistemahumedales.mma.gob.cl/HumedalesUrbanos/DetailsPublico/187>

Ministerio del Medio Ambiente. 2024. Sistema de Gestión de Humedales Urbanos. N° Expediente: OF-06-1044 Laguna Cahuil. Revisado en <https://sistemahumedales.mma.gob.cl/OficioHU/DetailsPublico/1044>

MMA-ONU Medio Ambiente 2021. Delimitación del humedal laguna de Cahuil e identificación de áreas prioritarias a restaurar en su cuenca aportante. Elaborado por Consultora Photosíntesis. 202 pp.

MMA-ONU Medio Ambiente. 2021. Delimitación de los humedales de Queule e identificación de áreas prioritarias a restaurar para la cuenca del Río Queule. Consultora Edáfica.

MMA – ONU Medio Ambiente. 2022. Guía de Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile. Elaborada mediante consultoría Proyecto GEF/SEC ID: 9766 “Conservación de humedales costeros de la zona centro sur de Chile” por EDÁFICA Suelos y Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 200 p.

MMA-ONU Medio Ambiente. 2022. Diagnóstico ambiental actual y fuentes emisoras del Humedal Costero del Río Elqui, Región de Coquimbo. Elaborado Tabilo E., Castillo D., Chávez-Villavicencio C., Casale J-F., Vargas S. (2022). Ministerio del Medio Ambiente, Coquimbo, Chile. 140 pp.

MMA-ONU Medio Ambiente. 2022. Informe Final “Plan de Gestión Integral para la cuenca del río Queule y sus humedales en la comuna de Toltén”. Elaborado por Laboratorio de Planificación Territorial, Universidad Católica de Temuco. Santiago, Chile. 101p.

MMA/ONU Medio Ambiente (n.d.) Conservación de humedales costeros de la zona centro sur de Chile, hotspot de biodiversidad, a través del manejo adaptativo de los ecosistemas de borde costero”. Síntesis información de Línea Base para el Humedal de la Desembocadura del Río Elqui, comuna de La Serena, Región de Coquimbo.

Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. M. (1972). Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 135(3), 370–384. <https://doi.org/10.2307/2344614>

Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile (ROC). (n.d.). Registros fotográficos extraídos de la plataforma eBird. eBird. Recuperado de <https://ebird.org/species/>

Suazo, M. 2024. Informe de muestreo de macroinvertebrados bentónicos. Humedal del Río Elqui. 64 pp. Revisado en [https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/05/Informe-MIB-Queule-Marzo-2024\\_verano.pdf](https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/05/Informe-MIB-Queule-Marzo-2024_verano.pdf)

URBANCOST. 2021. Definición de límites e identificación de áreas prioritarias a restaurar del Sistema Humedal Rocuant-Andalién-Vasco Da Gama-Paicaví-Tucapel Bajo, comunas de Concepción, Hualpén, Talcahuano y Penco, Región del Biobío.

Vidal-Abarca, M.R., Suárez, M.L. & Gómez, R. 2000. Los humedales: Ecosistemas para conservar. En: Biodiversidad. Contribución a su conocimiento y conservación en la Región de Murcia, pp. 149-162. (Eds. Calvo, J.F.; M.A. Esteve; F. López Bermúdez). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. España.

Wang, Y. Z., Hong, W., Wu, C. Z., He, D. J., Lin, S. W., & Fan, H. L. 2008. Application of landscape ecology to the research on wetlands. *Journal of Forestry Research*, 19(2), 164-170.

Xu, T., Weng, B., Yan, D., Wang, K., Li, X., Bi, W., & Liu, Y. 2019. Wetlands of international importance: Status, threats, and future protection. *International journal of environmental research and public health*, 16(10), 1818.