

# INFORME

## ESTUDIO:

**MORTANDAD DE CARPAS, TEMPERATURAS Y CONTENIDOS DE OXIGENO EN  
EL AGUA DEL HUMEDAL DEL RIO CRUCES Y SUS RIOS TRIBUTARIOS: VERANO  
2024**

**NOVIEMBRE 2024**



1.	RESUMEN EJECUTIVO.....	1
2.	ANTECEDENTES.....	3
3.	APROXIMACIÓN ANALÍTICA .....	10
4.	RESULTADOS PRELIMINARES.....	13
4.1.	Agua superficial y de fondo .....	13
	Conductividad.....	13
	Temperatura.....	13
	Oxígeno disuelto .....	16
	pH .....	16
	Análisis de Componentes Principales (ACP) .....	19
4.2.	Sedimentos subacuáticos.....	21
	Análisis de Componentes Principales (ACP) .....	25
4.3.	Ictiofauna de riberas.....	27
5.	EL PRINCIPIO DE PARSIMONIA Y LA PRUEBA DE HIPOTESIS.....	31
5.1.	Los antecedentes que conducen a la explicación del fenómeno (bajas de Oxígeno en aguas del HRC) .....	31
5.2.	Principio de parsimonia y la hipótesis .....	38
6.	RESULTADOS DE ESTUDIOS REALIZADOS PARA EVALUAR LA HIPOTESIS DE TRABAJO .....	41
7.	CONCLUSIONES.....	45
8.	DISCUSIÓN.....	46
9.	CONTENIDOS DE OXÍGENO A NOVIEMBRE 2024 (sector superior río Cayumapu).....	48
10.	REFERENCIAS .....	50
11.	EQUIPO DE TRABAJO.....	50
	ANEXO: .....	51

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

Durante enero 2024, se observó la presencia de carpas muertas en diferentes sectores del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC). Coincidentemente con eso, se detectaron zonas del humedal, donde las concentraciones de oxígeno en el agua superficial fueron inferiores a 1 mg/L (sector superior del río Cayumapu). Debido a lo anterior, se asumió que la mortandad de carpas durante enero 2024, tenía relación con esas bajas de oxígeno. Se asumió, además que carpas encontradas muertas en períodos estivales anteriores, tenían la misma causa de muerte, debido a que los datos periódicos del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC y sus ríos tributarios (a cargo de la Facultad de Ciencias de la UACH), demostraban la ocurrencia de bajas de oxígeno durante esos períodos (<5 mg/L).

Con fecha 28 de enero 2024 y mediante envío de correo electrónico a Gerencia de Medio Ambiente de Arauco y Gerencia Área Medio Ambiente Planta Valdivia de Arauco, se informó de la situación arriba mencionada en el contexto de monitoreo adaptativo del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. Ante esto, el área de GMA de Arauco, solicitó se escribiera una propuesta técnica tendiente a estudiar el fenómeno de la ocurrencia de bajas de oxígeno en el HRC. Arauco aceptó financiar los estudios planificados en esa propuesta, cuyas actividades se desarrollaron primariamente durante febrero y marzo 2024.

Los primeros resultados mostraron que, el agua superficial y de fondo de los sectores superiores de los ríos Cayumapu, Nanihue y Cudico, fueron los que tuvieron los valores más bajos de concentración de oxígeno (<1,5 mg/L disuelto). Similarmente y aun cuando, los valores de redox en aguas del fondo variaron dentro de rangos similares y que en todos los sectores se detectaron valores negativos de redox, los valores más negativos se repitieron más veces en los sedimentos de los sectores superiores de esos ríos. Se encontró además que la afectación ambiental de esos ríos - en otras palabras, contenidos de oxígeno inferiores a 2 mg/L - no resultaba en mortalidad de peces de pequeño tamaño (*i.e.*, puyes, pochas y pez mosquito), lo que podría deberse a respuestas de acomodación fisiológica a bajas de oxígeno en el agua, como ha sido demostrado para puyes.

En la búsqueda de la causalidad del fenómeno anteriormente descrito (bajas de oxígeno en el agua) y específicamente para el caso del sector superior del río Cayumapu, se constató la presencia de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) instalada en Villa Cayumapu y cuyos efluentes líquidos aparentemente descargan en la ribera aledaña a la zona donde se detectaron los valores más bajos de oxígeno en el agua superficial. Esto llevó a hipotetizar que “las bajas de oxígeno que se han detectado en la parte superior del río Cayumapu, están relacionadas a la alta carga orgánica transportada por los efluentes de la PTAS a las riberas de ese sector del mismo río y a la presencia de Cloro libre residual”. En otras palabras, el fenómeno estudiado daría cuenta de un funcionamiento no adecuado de esa planta. Para evaluar las predicciones de la hipótesis anteriormente planteada, se analizaron muestras de agua y sedimentos subacuáticos recolectados durante marzo y abril 2024. Algunos de los resultados más relevantes fueron: i) hay Cloro libre residual en la mayor parte del sector superior del río Cayumapu; las concentraciones más altas, se midieron en las riberas adyacentes a la zona donde aparentemente se descargan los efluentes de la PTAS de Villa Cayumapu; ii) los porcentajes de Carbono Orgánico Total y concentraciones de Ácidos Grasos y AOX, en los sedimentos subacuáticos de sectores aledaños a la ribera donde aparentemente descargan los efluentes de la PTAS de Villa Cayumapu, fueron más altas que las de sectores ubicados en la parte media del HRC cuyos sedimentos se monitorean periódicamente. Consecuentemente, la hipótesis más plausible para explicar las bajas de oxígeno en el sector de Cayumapu, es el funcionamiento (en este caso deficitario) de la PTAS de Villa Cayumapu.

A continuación, se describe el complemento de algunos de los escenarios posibles que sustentan la hipótesis planteada: i) PTAS funcionando con desequilibrio operacional, debido a sobre carga de materia orgánica en el afluente, debido probablemente al crecimiento de los usuarios de la PTAS; y ii) PTAS funcionando con desequilibrio operacional, debido a dosificación inadecuada de NaClO: hay exceso de NaClO en los efluentes de la planta, ya sea por dosificación imprecisa de este compuesto o escaso tiempo de contacto del mismo con la materia orgánica dentro de la planta de tratamiento (consecuentemente, el agente oxidante no es consumido dentro de la planta). El escaso tiempo de contacto del NaClO con la materia orgánica a tratar, puede deberse, por ejemplo, a aumento del caudal de entrada que llega a la planta.

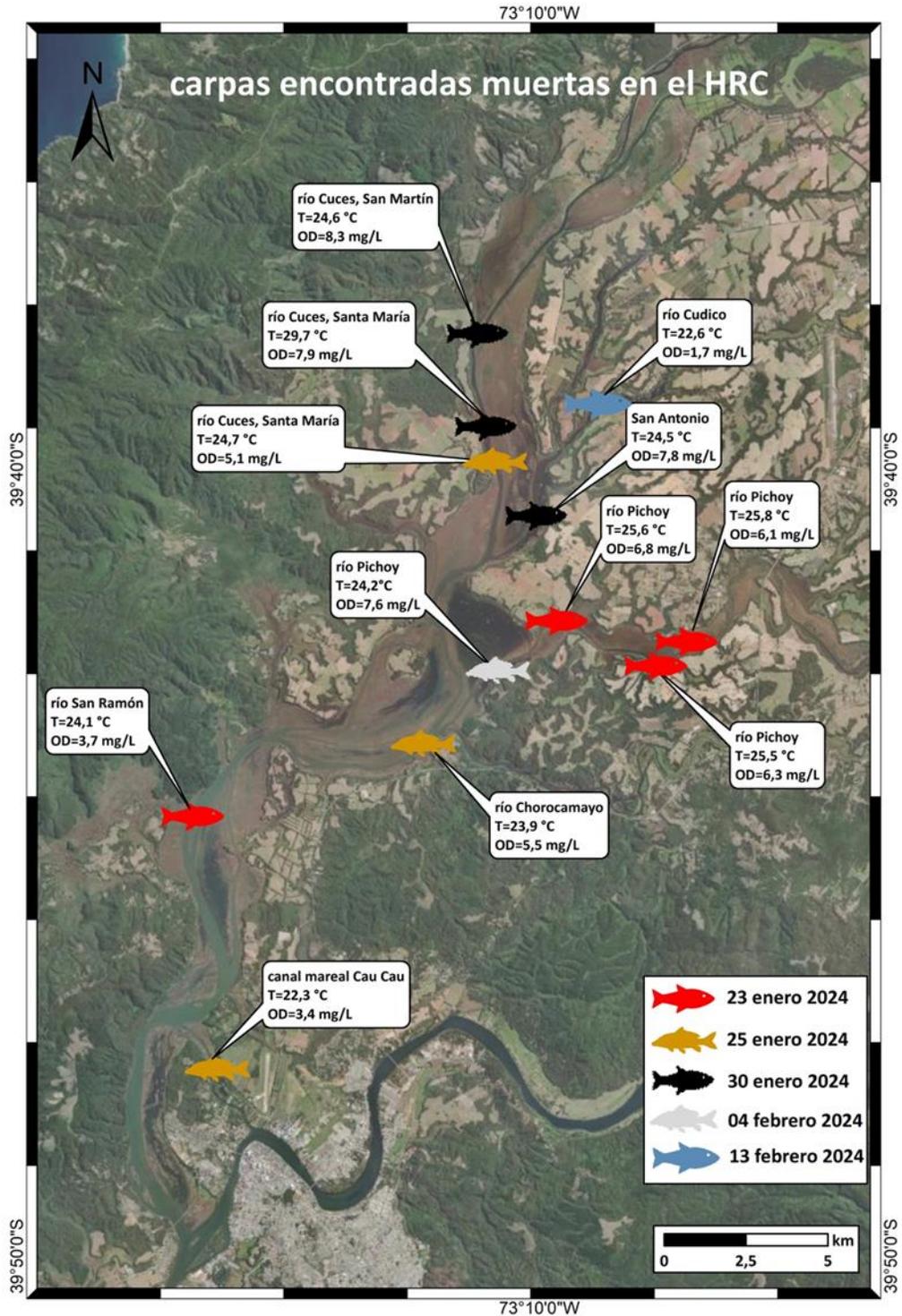
## 2. ANTECEDENTES

Durante el período del 22 al 25 de enero 2024, se observó la presencia de carpas muertas en diferentes sectores del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (HRC) (Fig. 1).



**Figura 1.** Especímenes de carpas muertas, observadas el día 23 de enero 2024 en sectores de Pichoy y Punucapa (foto superior izquierda y foto vertical derecha) y el día 25 de enero 2024, en el sector de Chorocamayo (foto inferior izquierda).

La Figura 2 muestra los sectores donde durante enero y febrero 2024 se encontraron carpas muertas en el HRC. La dispersión de los puntos de hallazgo es alta, lo que está probablemente relacionado a la ocurrencia de corrientes mareales dentro del humedal. Por lo mismo, la ubicación de los puntos que se muestra en esta figura, no necesariamente representa el sector donde estas carpas murieron. La Figura 2 muestra también, que las temperaturas del agua fueron más altas en el río Cruces, sector Santa María (29,7°C) y en el río Pichoy (25,6 - 25,8°C); a su vez, los contenidos más bajos de oxígeno, se detectaron en sectores extremos del HRC (*e.g.*, 1,7 mg/L en Cudico y 3,7 mg/L en San Ramón) o fuera de este (3,4 mg/L en el canal mareal Cau Cau).



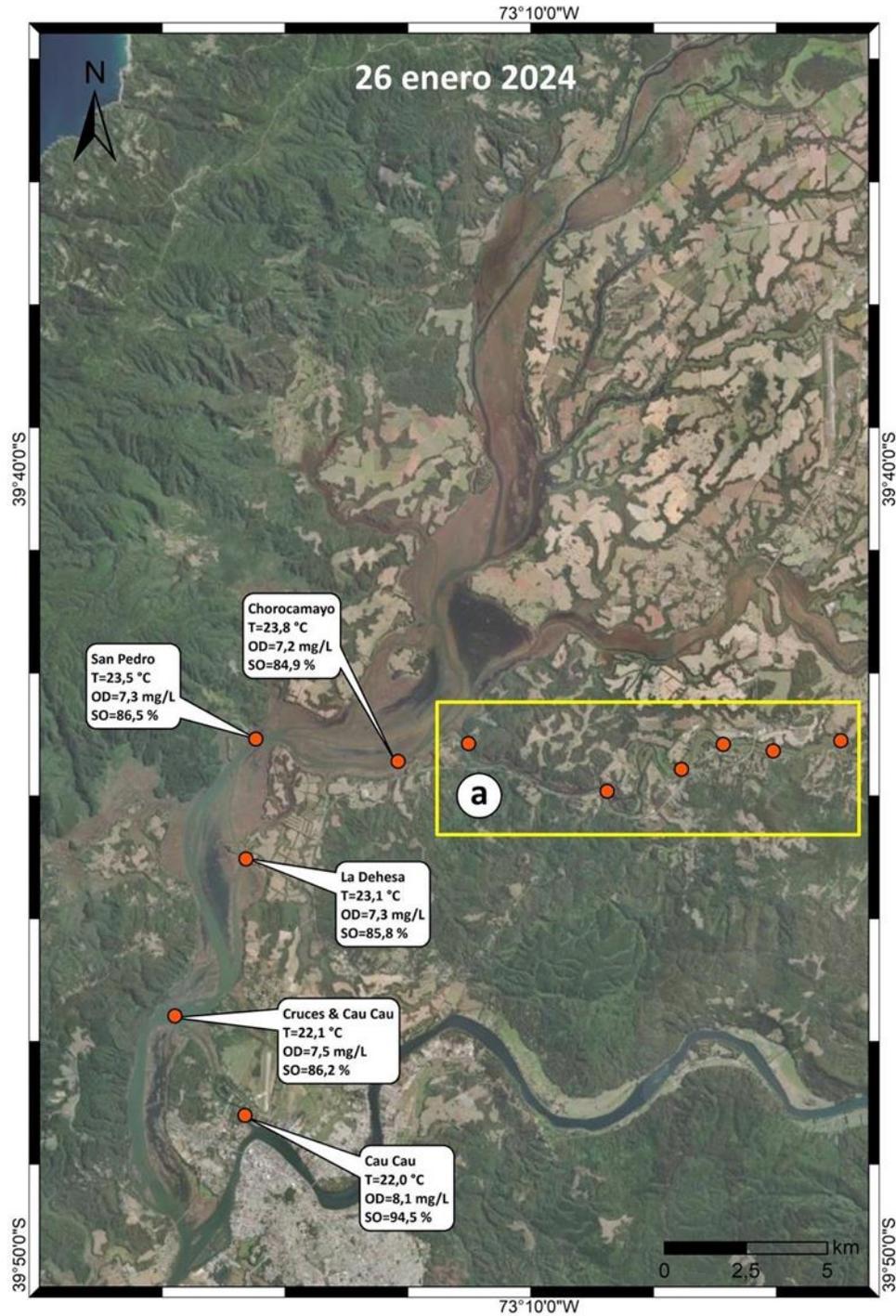
**Figura 2.** Ubicación de los sectores donde se encontraron carpas muertas durante enero y febrero 2024. Para cada sector, se indican los valores de temperatura (T) y oxígeno disuelto (OD) en el agua superficial del HRC.

Las Figuras 3 y 4, muestran la variabilidad de temperatura y contenido de oxígeno del agua superficial en un transecto de mediciones *in situ*, realizado el 26 de enero 2024 y extendido entre el canal mareal Cau Cau y el río Cayumapu.

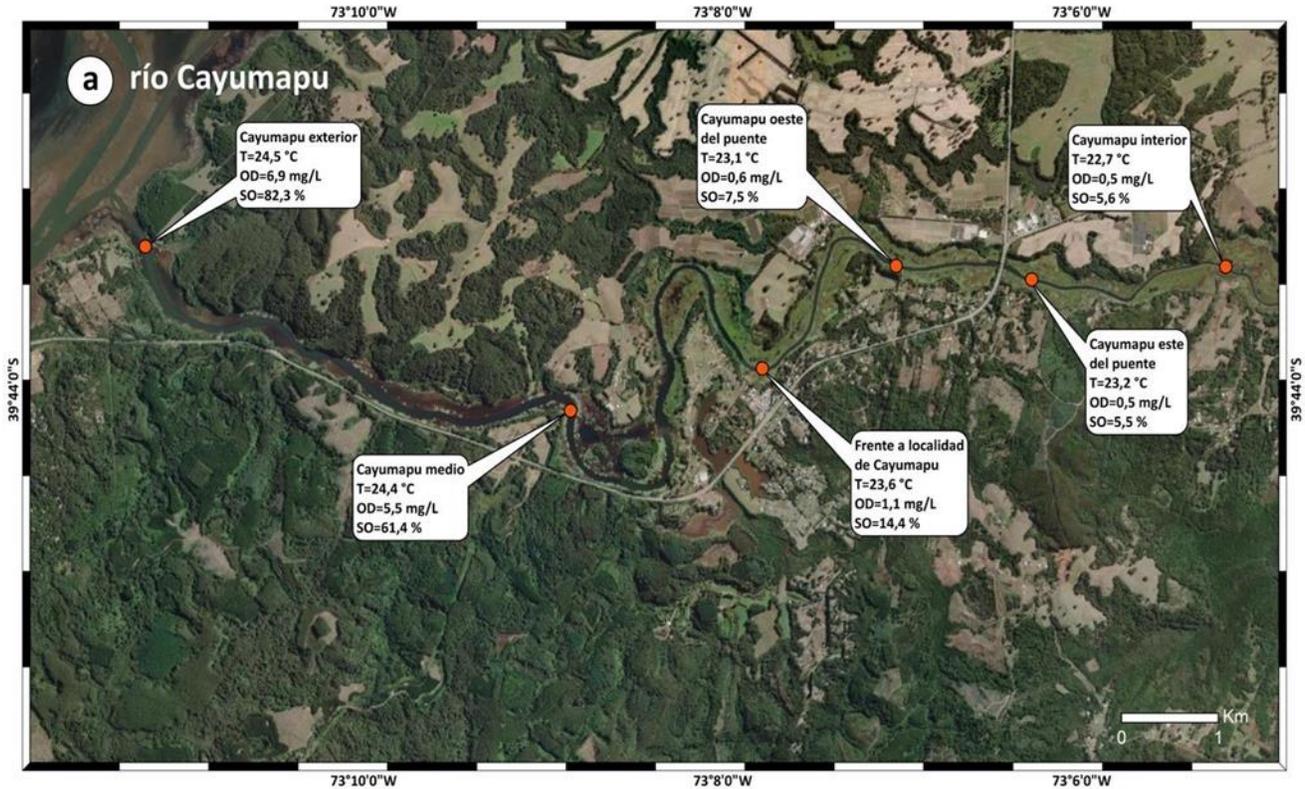
Los valores de temperatura fueron más bajos (*ca.* 22°C) en la parte inferior del área de estudio (canal mareal Cau Cau y Cruces & Cau Cau); a partir del último sector, los valores de esta variable aumentaron hasta 23,8 - 24,5°C en los sectores de Chorocamayo y Cayumapu exterior (desembocadura de este río en el río Chorocamayo) (Fig. 3 y 4).

Los contenidos de oxígeno disuelto en el agua superficial (concentraciones y porcentajes de saturación), disminuyeron gradualmente desde el canal mareal Cau Cau a Cayumapu exterior (*circa* 12 km): 8,1 a 6,9 mg/L y 94,5 a 82,3 % de saturación (Fig. 3 y 4).

Desde el último sector a los puntos de muestreo ubicados más al interior del río Cayumapu, se evidenció una notoria disminución en los contenidos de oxígeno: desde 5,0 a 0,5 mg/L y 61,4 a 5,6% de saturación (Fig. 4). Estos bajos valores se midieron en las cercanías de la localidad de Villa Cayumapu (*circa* 8 km al este de Cayumapu exterior (*cf.* Fig. 4).



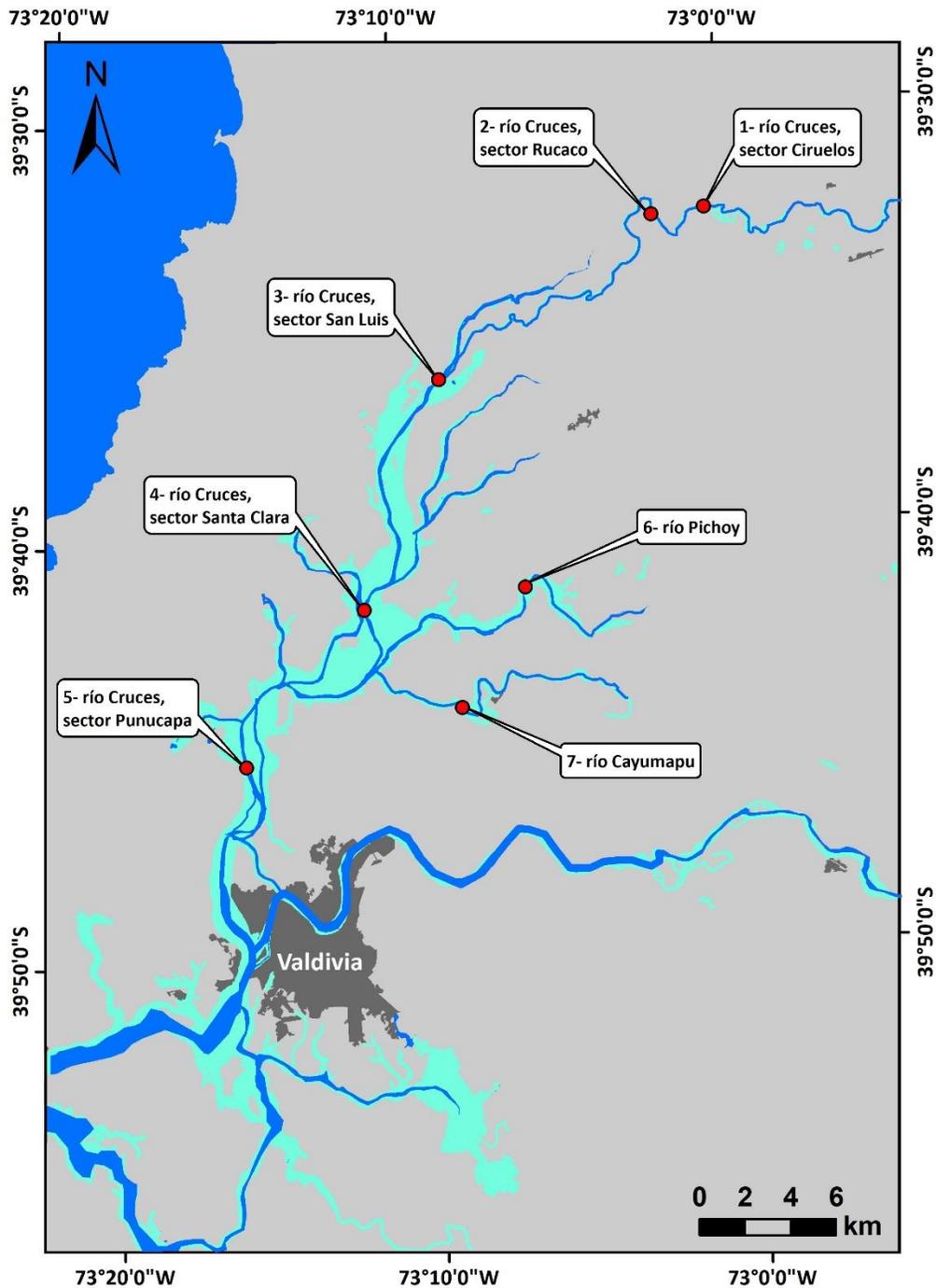
**Figura 3.** Valores de temperatura (T), oxígeno disuelto (OD) y saturación de oxígeno (SO), medidos *in situ* en el agua superficial de la parte inferior del HRC (enero 2024). Los datos del río Cayumapu (recuadro a) se presentan en la Figura 4.



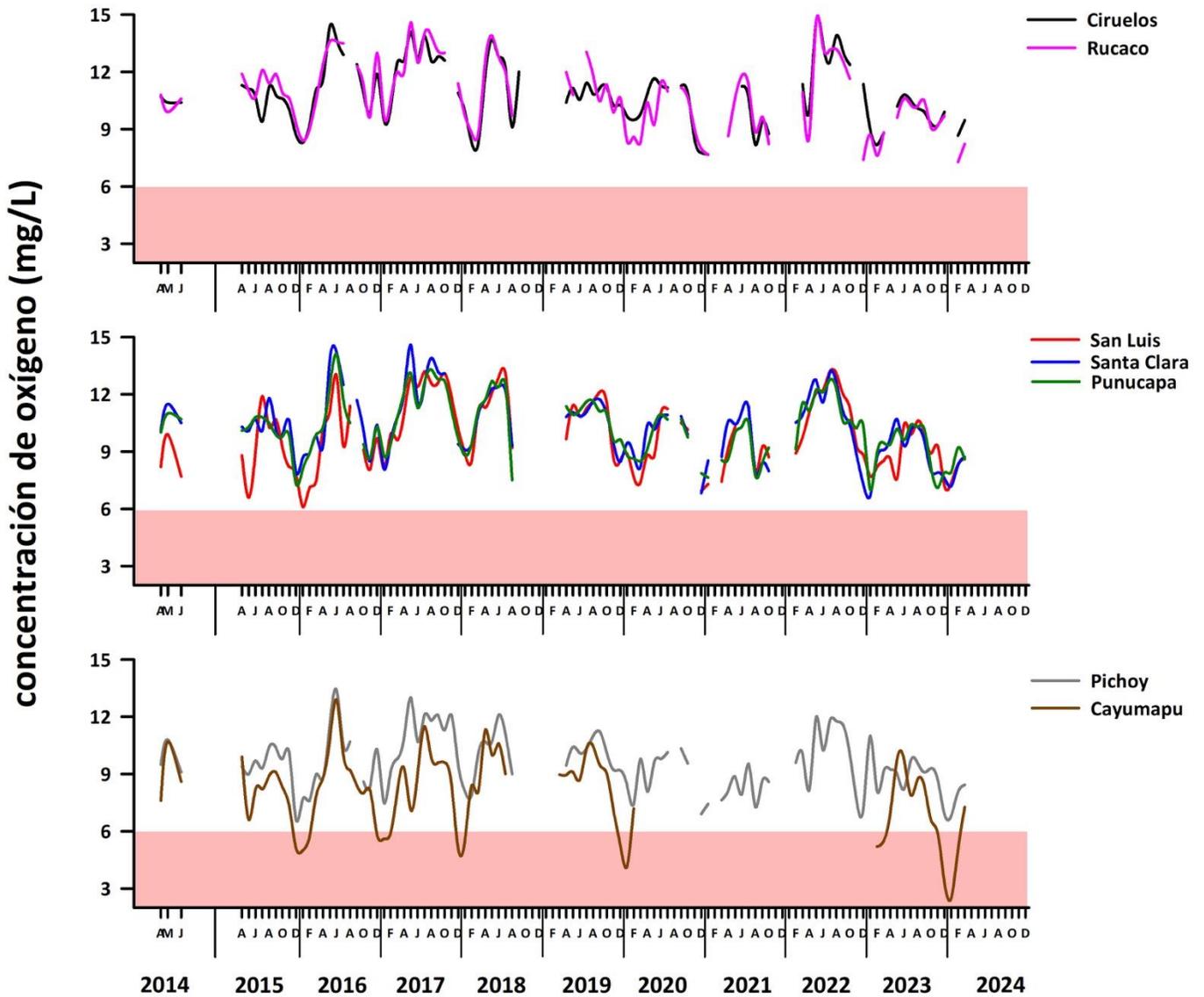
**Figura 4.** Valores de temperatura (T), oxígeno disuelto (OD) y saturación de oxígeno (SO), medidos *in situ* en el agua superficial del río Cayumapu (enero 2024).

Los datos históricos del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC (2015 - 2023) (ver estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial en Fig. 5), indican que la ocurrencia de concentraciones relativamente bajas de oxígeno (*ca.* 3,35 - 5,6 mg/L) en el río Cayumapu (estación 7, Fig. 5), ya había sido detectada en esta zona del humedal (Fig. 6). No obstante, durante enero 2024, la concentración de esta variable ambiental bajó a 2,5 mg/L; en otras palabras, los datos históricos (2015 - 2023) muestran una tendencia interanual a la baja, en las concentraciones de oxígeno superficial al interior del río Cayumapu (Fig. 6).

Interesa destacar aquí, que la situación anteriormente descrita (bajas de oxígeno en el agua superficial durante el período estival), no ha sido observada en el agua de las otras estaciones mostradas en la Figura 5.



**Figura 5.** Ubicación de las siete estaciones de muestreo, seleccionadas para los análisis de características físico - químicas del agua superficial y sedimentos sub acuáticos del HRC y sus ríos tributarios (Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios).



**Figura 6.** Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) en el agua superficial del HRC. Nótese las bajas concentraciones durante los períodos de primavera - verano en el río Cayumapu. Nota: no se realizaron mediciones de oxígeno entre abril 2020 y diciembre 2022. Se usa la franja rosada para delimitar concentraciones inferiores a 6 mg/L.

### 3. APROXIMACIÓN ANALÍTICA

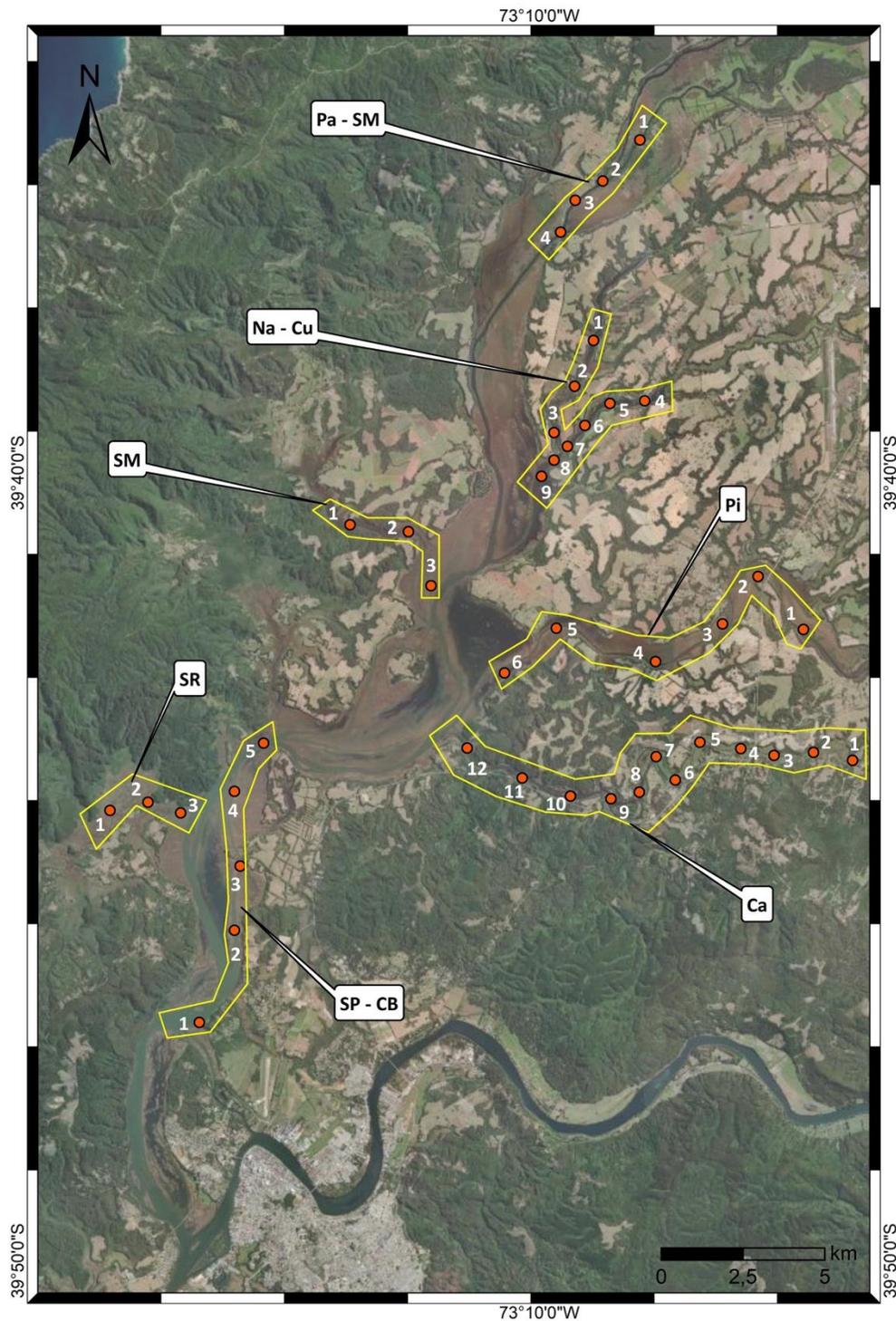
En base a los antecedentes anteriormente expuestos, con fecha 28 de enero 2024 y mediante envío de correo electrónico a Gerencia de Medio Ambiente (GMA) Arauco y Gerencia Área Medio Ambiente Planta Valdivia), Eduardo Jaramillo - en calidad de coordinador del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC - informó de la situación arriba mencionada en el contexto de monitoreo adaptativo de este programa. Ante esto, el área de GMA solicitó se escribiera una propuesta técnica tendiente a estudiar el fenómeno de la ocurrencia de bajas de oxígeno en el HRC. Lo anterior, con el objetivo de ser evaluada por Arauco y eventualmente incorporada como muestreo adaptativo. La propuesta definitiva - enviada a la empresa el 6 de febrero 2024 - incluía las siguientes actividades de terreno y laboratorio:

- i) Mediciones de conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, pH (uso de sonda multi parámetro YSI pro) y contenidos de sólidos suspendidos totales (SST), en el agua superficial y cercana al fondo (*ca.* 1 m sobre éste), de estaciones de muestreo ubicadas en los sectores que se indican en la Figura 7. Muestreos realizados entre el 4 y el 12 de febrero 2024.
- ii) La selección de los mismos, se basó en mediciones realizadas al azar entre el 23 y 26 de enero 2024, lo que permitió individualizar - en relación a la problemática que originó este estudio - los puntos de mayor interés en el HRC. El número de estaciones en cada sector varía de acuerdo a la longitud, características geomorfológicas y presencia de actividades antrópicas en cada uno de los mismos. De este modo, se intentó delimitar el área de afectación de cada sector, e identificar eventuales fuentes que pudiesen estar originando las bajas de oxígeno en el agua del humedal.
- iii) Mediciones de pH y redox en los sedimentos subacuáticos en los sectores señalados en la Figura 7 (uso de sonda multi parámetro pH/ORP HANNA HI98191 y estándares de calibración para pH (4,01, 7,01, 10,01) y ORP (240 mV). Muestreos realizados el

---

12 y 13 de marzo 2024.

- iv) Análisis texturales (Anderson *et al.*, 1980) y de contenidos de materia orgánica total en sedimentos subacuáticos en cada uno de los sectores mostrados en la Figura 7.
- v) Muestreos con uso de pesca eléctrica en praderas de macrófitas, aledañas a los cauces ribereños de los sectores señalados en la Figura 7. Lo anterior, para evaluar la eventual afectación de la ictiofauna que habita en esos cordones, debido a las bajas de oxígeno en el área. No se pudo muestrear en el sector San Pedro & Cabo Blanco, debido a imposibilidad de usar equipo de pesca eléctrica, ya que, durante los días de muestreo, ocurrieron valores muy altos de conductividad en el agua de ese sector (*ca.* 2000 - 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), lo que inhabilitó el uso del equipo antes mencionado.
- vi) Tabulación de datos y confección de gráficos, para evaluar áreas o puntos del HRC y sus tributarios con bajas de oxígeno.
- vii) Uso de Análisis de Componentes Principales (ACP) para evaluar cual de las variables físico - químicas del agua y los sedimentos subacuáticos tienen mayor peso en explicar la variabilidad observada en los datos. Los análisis de componentes principales se realizaron con las librerías *Factoextra* (Kassambara & Mundt 2020) y *FactoMineR* (Le Sebastien *et al.*, 2018), utilizando la versión R 4.3.2 (R Core team 2023).
- viii) Elaboración - en base al Principio de Parsimonia y el Método Hipotético Deductivo - de una hipótesis tendiente a explicar las bajas de oxígeno en el HRC, durante el período estival.



**Figura 7.** Ubicación de los sectores de estudio en el HRC: Pa - SM: río Cruces, Paico a San Martín; Na - Cu: ríos Nanihue y Cudico; Pi: río Pichoy; SM: río Santa María; Ca: río Cayumapu; SR: río San Ramón; SP - CB: río Cruces, San Pedro a Cabo Blanco. Los puntos rojos son estaciones de muestreo, a lo largo de los cursos acuáticos de cada sector.

#### 4. RESULTADOS PRELIMINARES

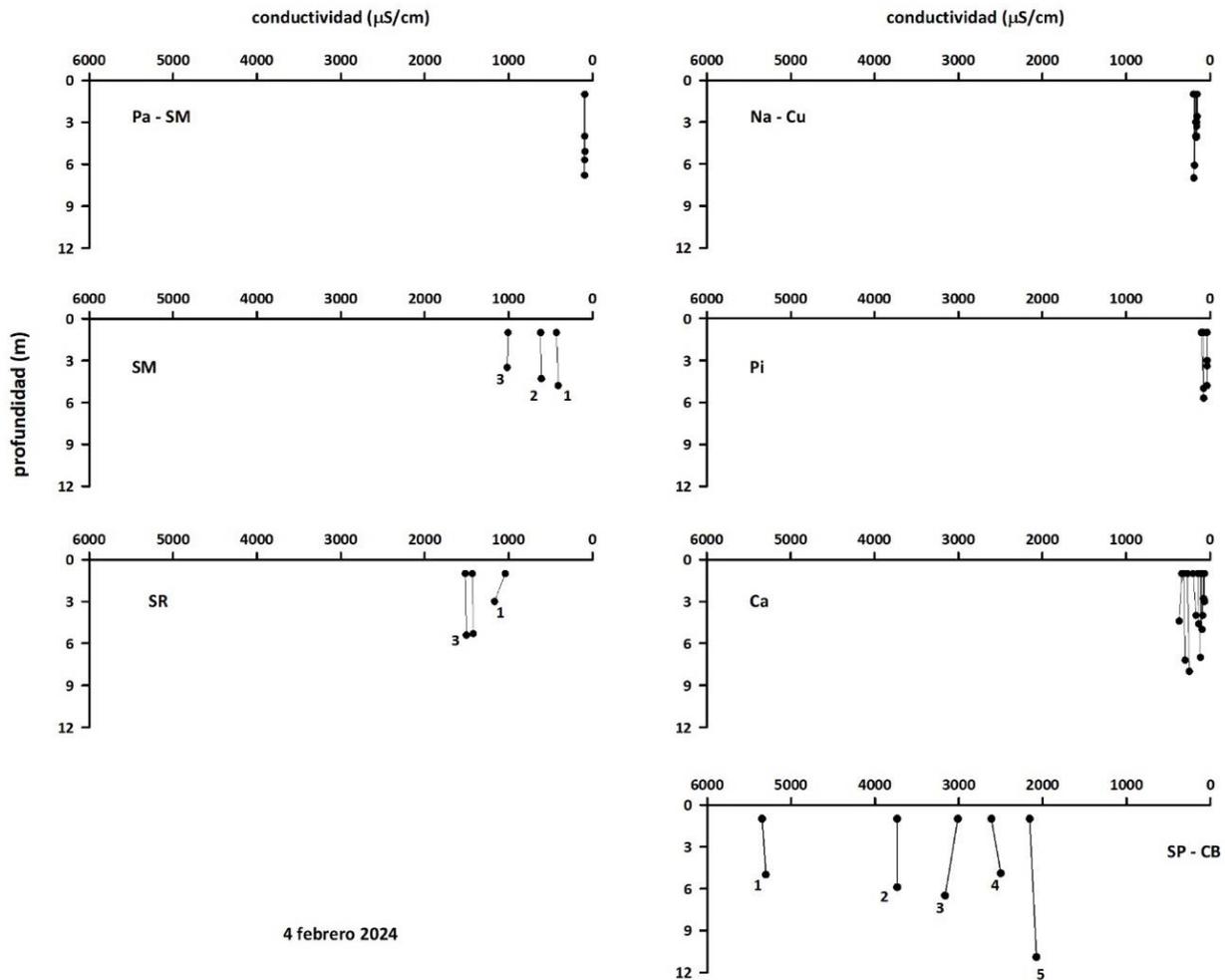
##### 4.1. Agua superficial y de fondo

###### Conductividad

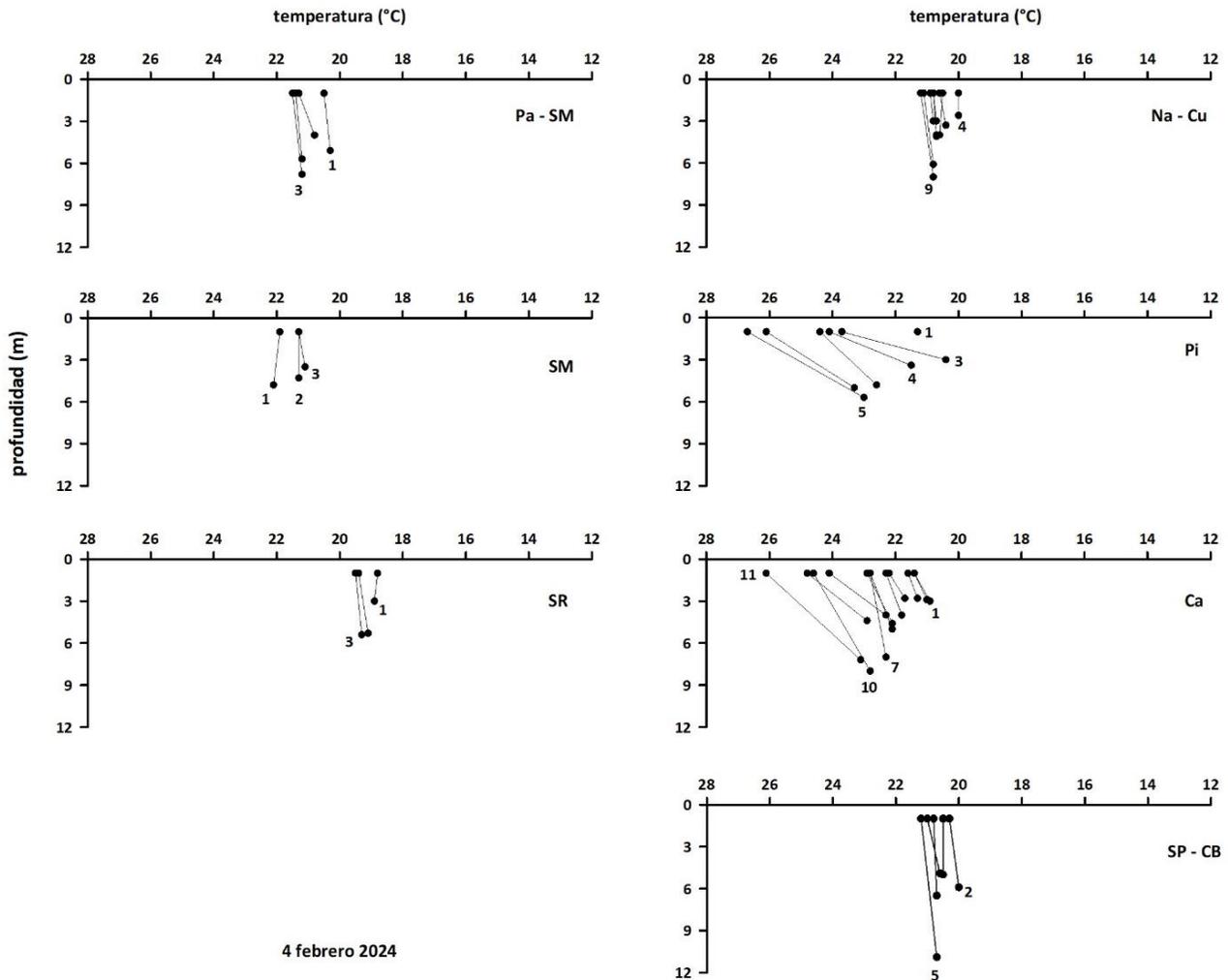
Los sectores Pa - SM, Na - Cu y Pi, mostraron escasa variabilidad de conductividad (<200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Fig. 8) a lo largo de sus cursos; en otras palabras, los valores de conductividad - dentro de cada uno de esos sectores - fueron similares entre estaciones de muestreo. Por el contrario, la variabilidad más alta a lo largo del curso, se detectó en el sector SP - CB (*ca.* 2000-5500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), seguido de los sectores SR (*ca.* 1000-1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), SM (*ca.* 400-1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y Ca (*ca.* 100-500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Fig. 8). En general, no se detectaron mayores diferencias de conductividad entre aguas superficiales y de fondo.

###### Temperatura

Los sectores Pa - SM, Na - Cu, SM, SR y SP - CB, mostraron escasa variabilidad de temperatura (Fig. 9) a lo largo de sus cursos (*ca.* 18-22°C); en otras palabras, los valores de temperatura - dentro de cada uno de esos sectores - fueron similares entre estaciones de muestreo. Por el contrario, la variabilidad más alta a lo largo del curso, se detectó en los sectores sector Pi (*ca.* 20 - 27°C) y Ca (*ca.* 21 - 26°C), en cuyas aguas se midieron las temperaturas más altas (*ca.* 20-27°C) (Fig. 9). En general, no se detectaron mayores diferencias de temperatura entre aguas superficiales y de fondo, salvo en los sectores Pi y Ca, donde las temperaturas fueron en general más altas en aguas superficiales (Fig. 9).



**Figura 8.** Valores de conductividad medidos en el agua superficial y de fondo de los sectores Pa - SM, Na - Cu, Pi, SM, Ca, SR y SP - CB (ver Fig. 7). Esferas unidas por líneas indican valores de aguas superficiales y de fondo. Debido a restricciones de espacio en el gráfico, sólo se identifican algunas de las estaciones de muestreo y especialmente en los sectores donde se detectaron las diferencias más bajas entre estaciones.



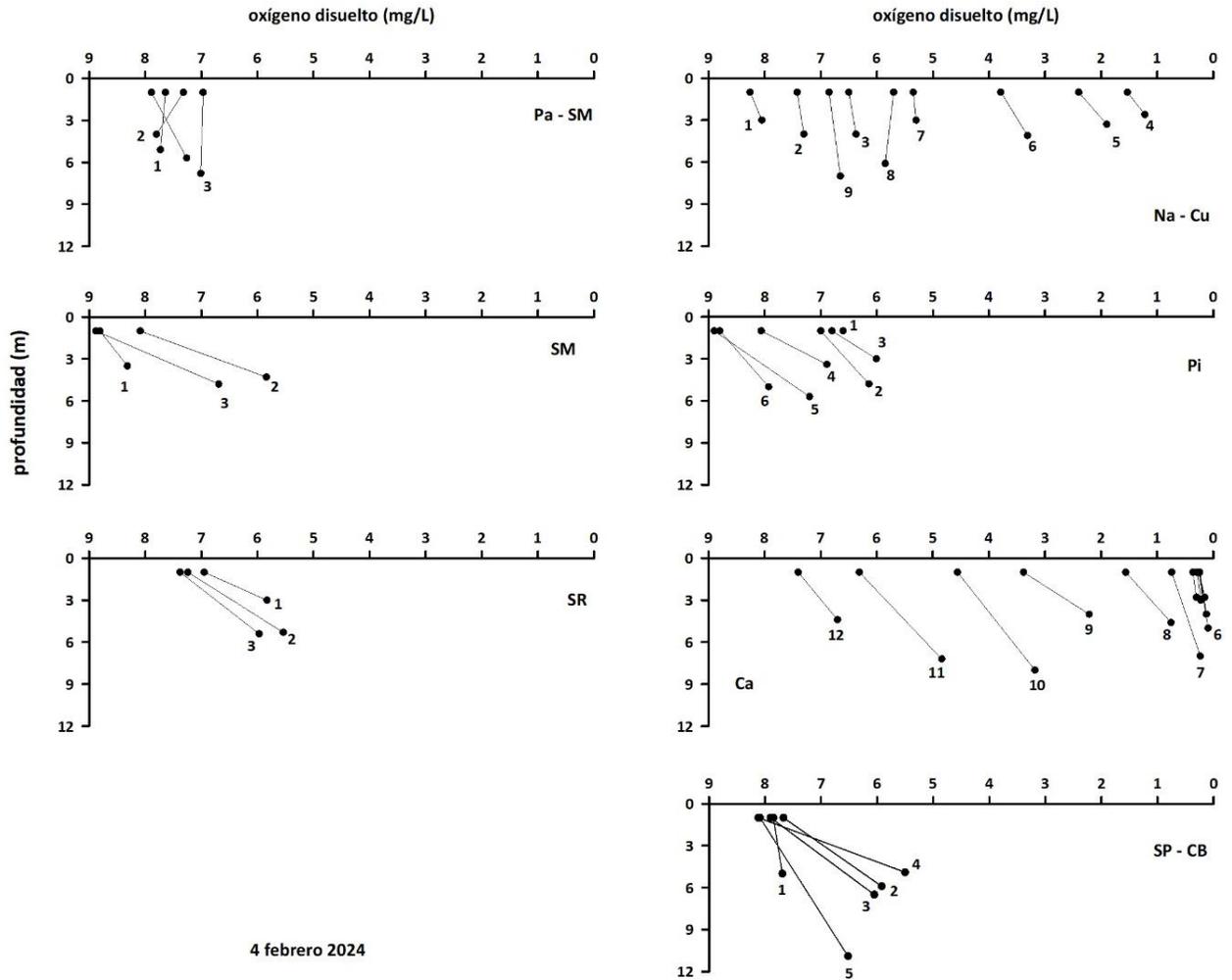
**Figura 9.** Valores de temperatura medidos en el agua superficial y de fondo de los sectores Pa - SM, Na - Cu, Pi, SM, Ca, SR y SP - CB (ver Fig. 7). Esferas unidas por líneas indican valores de aguas superficiales y de fondo. Debido a restricciones de espacio en el gráfico, sólo se identifican algunas de las estaciones de muestreo y especialmente en los sectores donde se detectaron las diferencias más bajas entre estaciones.

## **Oxígeno disuelto**

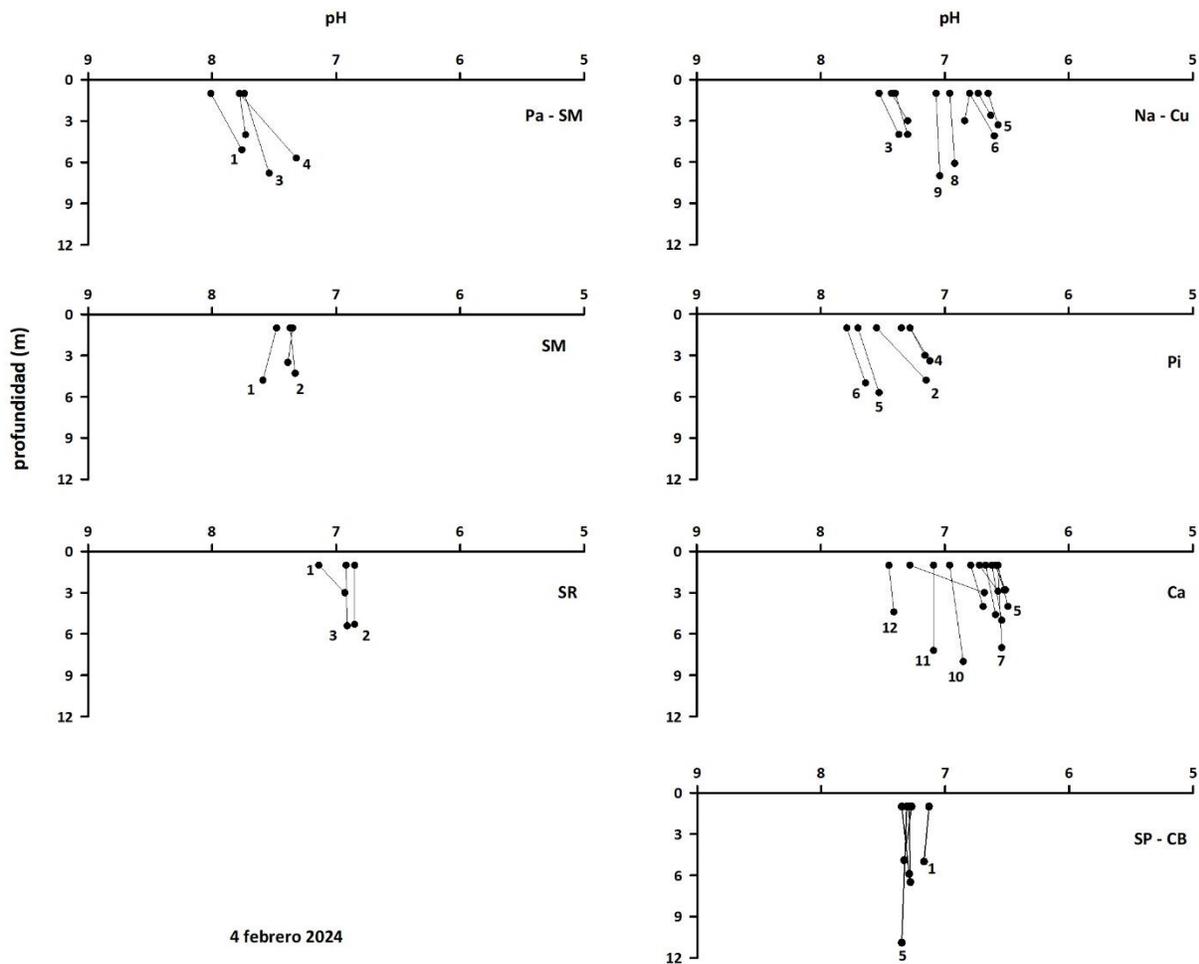
Los sectores Na - Cu y Ca, fueron los que mostraron mayor variabilidad en los valores de concentración de oxígeno disuelto en el agua a lo largo de sus cursos (*ca.* 0,5-8,5 mg/L) (Fig. 10); en otras palabras, las concentraciones - dentro de cada uno de esos sectores - fueron muy diferentes. Fue en esos mismos sectores, donde se detectaron los valores más bajos de concentración de oxígeno (<1,5 mg/L disuelto) (Fig. 10). La variabilidad más baja a lo largo del curso, se detectó en los sectores Pa - SM (*ca.* 7,0-8,0 mg/L) y SR (*ca.* 5,5-7,5mg/L) (Fig. 10). En todos los sectores (con excepción de Pa - SM) y en general, las concentraciones de oxígeno fueron más altas en el agua superficial (Fig. 10).

## **pH**

En general, todos los sectores mostraron escasa variabilidad de pH (Fig. 11) a lo largo de sus cursos; en otras palabras, los valores de pH - dentro de cada uno de esos sectores - fueron similares entre estaciones de muestreo. Sin embargo, en el agua de los sectores Na - Cu y Ca, los rangos de variabilidad de pH fueron más bajos (*ca.* 6,5 - 7,5) que en el agua de los otros sectores donde en general, los rangos estuvieron entre 7 y 8 (Fig. 11). Los valores de pH en los sectores de Pa - Sm, Na - Cu, Pi y Ca, fueron en general más altos en aguas superficiales que en aguas de fondo, a la vez que en el agua de los otros sectores no se observó mayor variabilidad de pH entre profundidades (Fig. 11).



**Figura 10.** Valores de oxígeno disuelto medidos en el agua superficial y de fondo de los sectores Pa - SM, Na - Cu, Pi, SM, Ca, SR y SP - CB (ver Fig. 7). Esferas unidas por líneas indican valores de aguas superficiales y de fondo. Debido a restricciones de espacio en el gráfico, sólo se identifican algunas de las estaciones de muestreo y especialmente en los sectores donde se detectaron las diferencias más bajas entre estaciones.



**Figura 11.** Valores de pH medidos en el agua superficial y de fondo de los sectores Pa - SM, Na - Cu, Pi, SM, Ca, SR y SP - CB (ver Fig. 7). Esferas unidas por líneas indican valores de aguas superficiales y de fondo. Debido a restricciones de espacio en el gráfico, sólo se identifican algunas de las estaciones de muestreo y especialmente en los sectores donde se detectaron las diferencias más bajas entre estaciones.

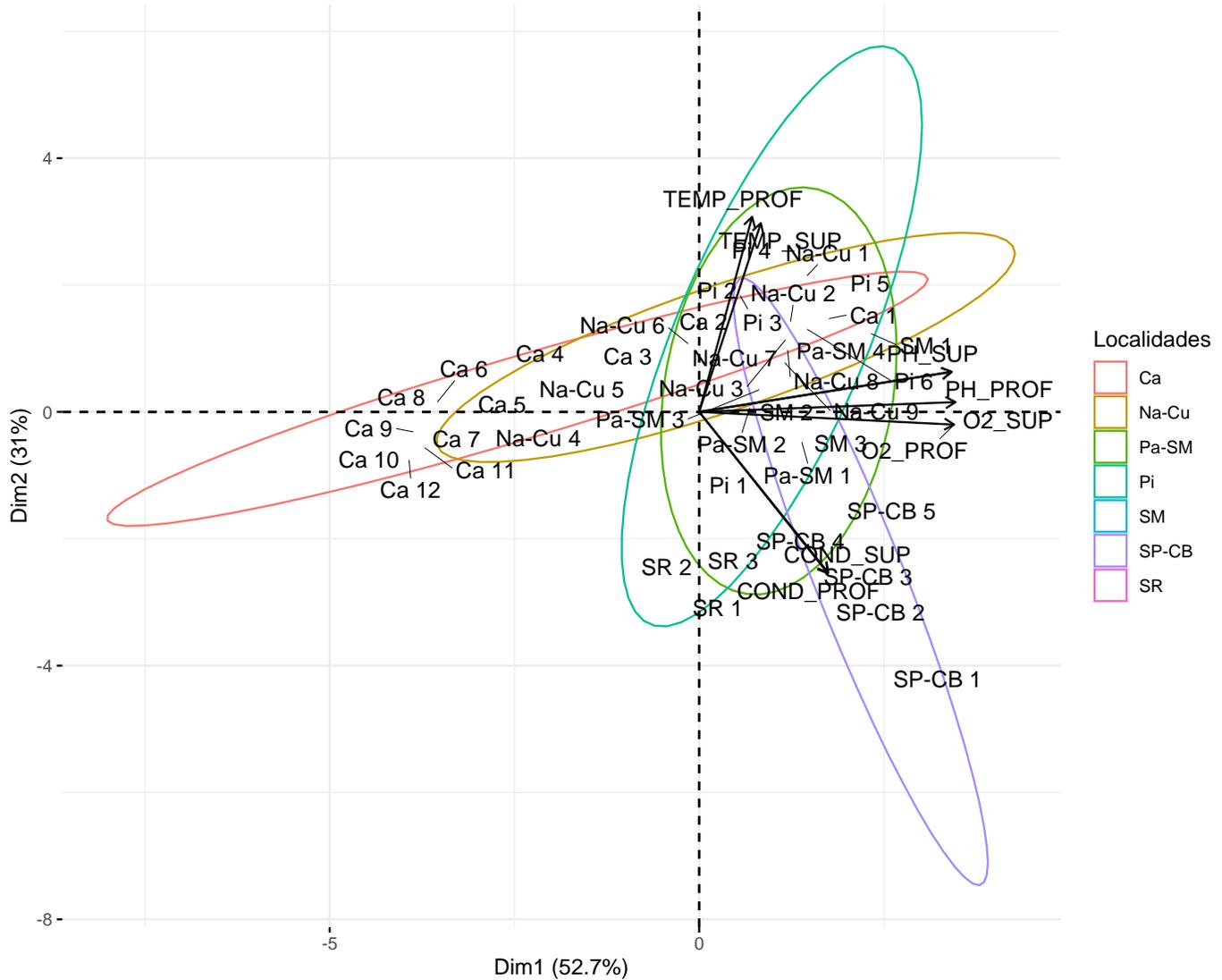
## **Análisis de Componentes Principales (ACP)**

La Figura 12, muestra los resultados del ACP, llevado a cabo para evaluar cual o cuales, de las variables físico - químicas del agua, tienen mayor peso en explicar la variabilidad observada en los datos recolectados (conductividad, temperatura, oxígeno disuelto y pH), durante febrero 2024.

Aproximadamente, el 53% de la variabilidad del conjunto de datos analizado, es explicado por el Componente o Dimensión 1; a su vez, otro 31% de tal variabilidad es explicado por el Componente o Dimensión 2. En conjunto, ambos componentes explican el 69% de la variabilidad observada.

Los contenidos de oxígeno disuelto y pH, son las variables de mayor peso o “relevancia” en el Componente 1, a la vez que conductividad y temperatura hacen lo propio en el Componente 2. Lo anterior se refleja cómo sigue (ver Fig. 12):

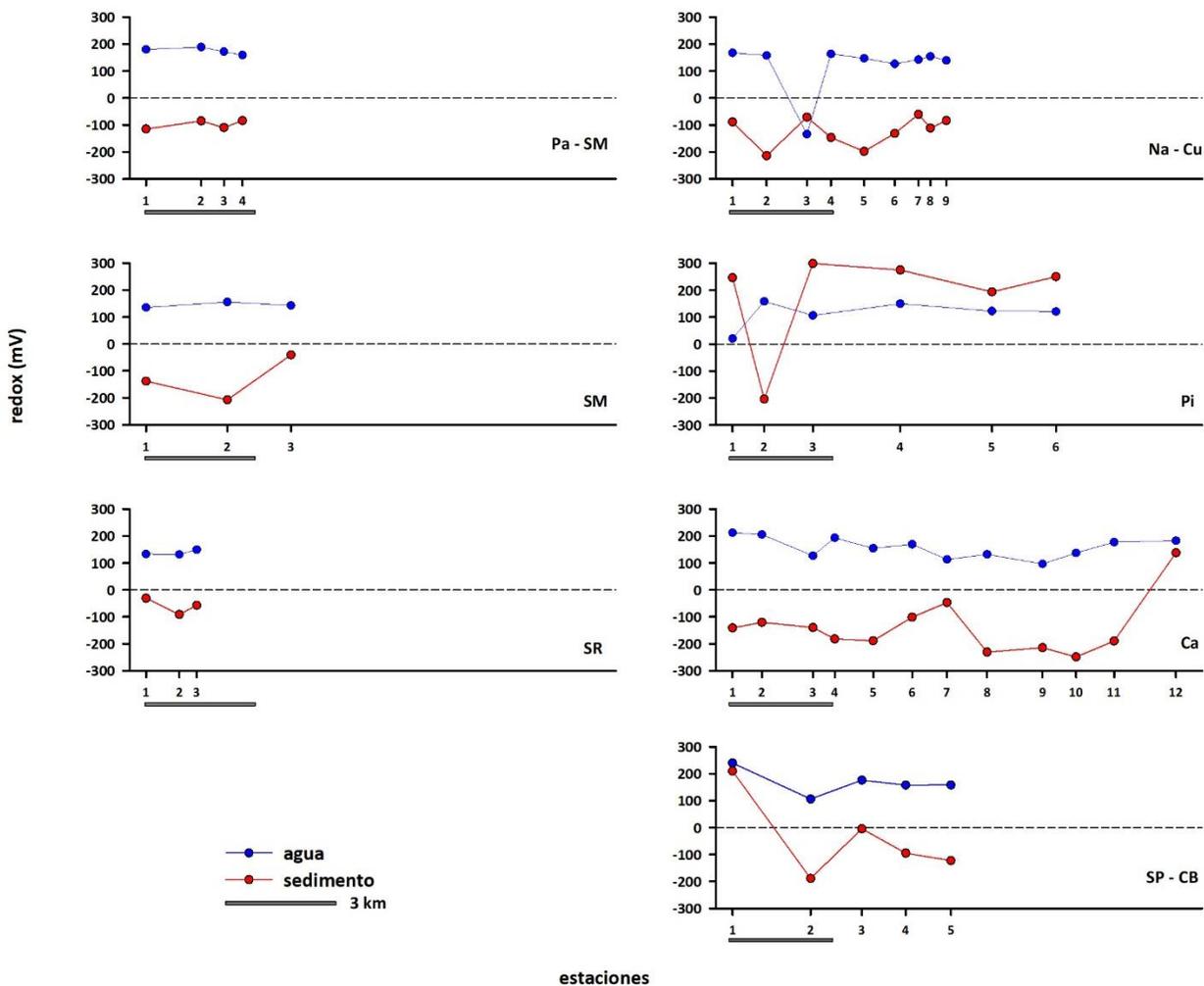
- i) Básicamente, los datos de los sectores Nanihue - Cudico (Na-Cu) y Cayumapu (Ca), se disponen horizontalmente en elipses extendidas a lo largo del eje X o Componente 1: esto es debido a sus bajos valores de oxígeno disuelto y valores más ácidos de pH, a diferencia de los datos de los otros sectores.
- ii) Parte de los datos de las estaciones de los otros sectores, quedan incluidos en elipses que se disponen gráficamente a lo largo del eje Y. Esto es evidente para el caso de los sectores San Ramón y Cabo - Blanco San Pedro, en cuyas aguas se detectaron los valores más altos de conductividad.



**Figura 12.** Representación gráfica de los resultados del Análisis de Componentes Principales, llevado a cabo con los valores de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y pH registrados durante febrero 2024, en los siete sectores del humedal que se muestran en la Figura 7.

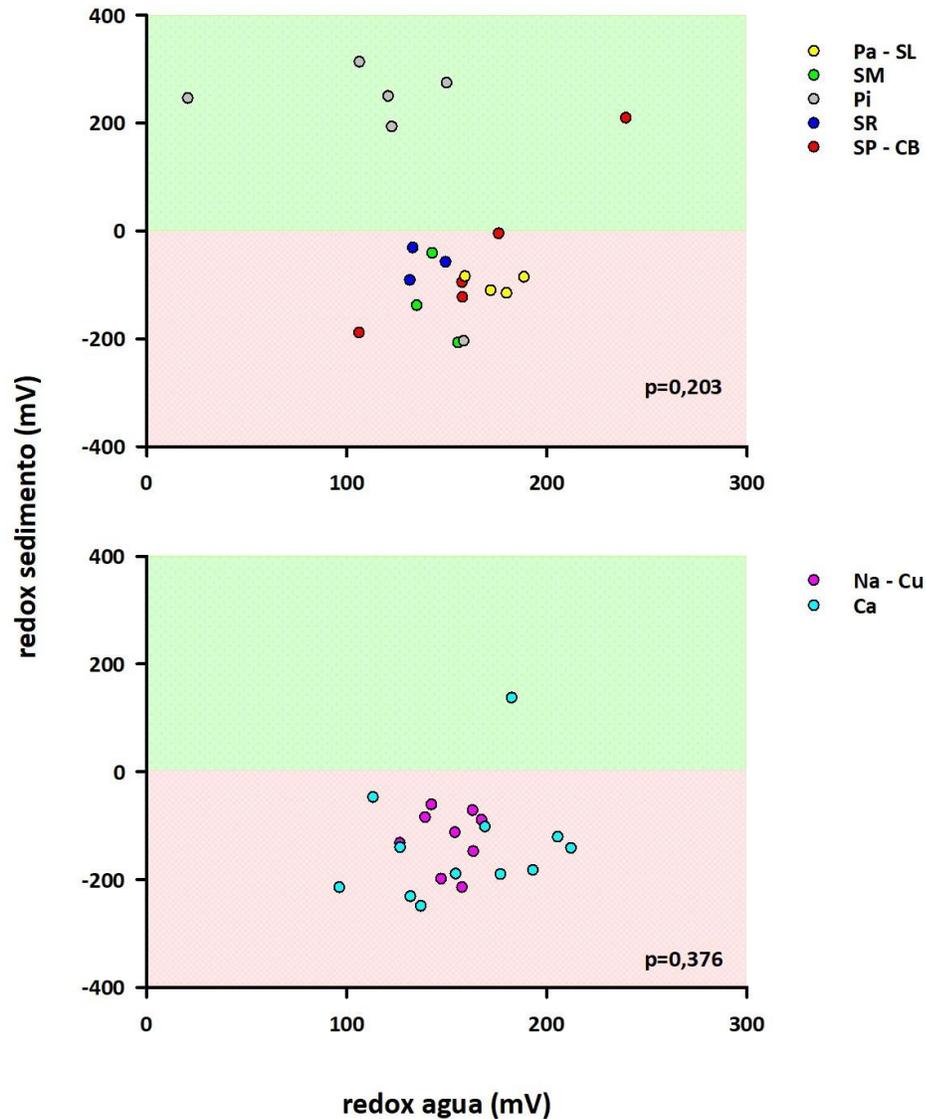
## 4.2. Sedimentos subacuáticos

La Figura 13 muestra la variabilidad de redox o potencial de óxido reducción en el agua cercana al fondo (1 m sobre este) y en los fondos sedimentarios subacuáticos del área de estudio. La comparación entre sectores, muestra que los valores de redox en aguas del fondo variaron dentro de rangos similares y que en todos los sectores se detectaron valores negativos de redox. Sin embargo, los valores más negativos se repitieron más veces en los sedimentos de los sectores Nanihue & Cudico (Na - Cu) y Cayumapu (Ca), (Fig. 18).



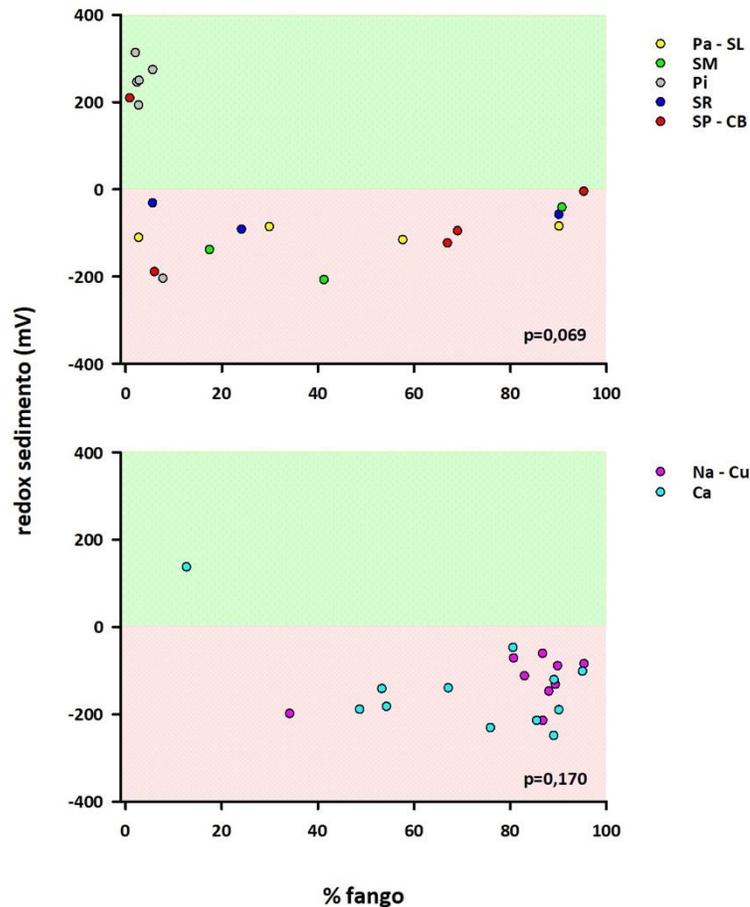
**Figura 13.** Valores de redox (potencial de óxido reducción) medidos durante el 12 y 13 de marzo 2024, en el agua de fondo y sedimentos subacuáticos de los sectores Pa - SM, Na - Cu, Pi, SM, Ca, SR y SP - CB (ver Fig.7).

La Figura 14 muestra que no hay correlaciones significativas ( $p > 0,05$ ) entre los valores de redox, medidos en los sedimentos subacuáticos y en el agua del fondo.



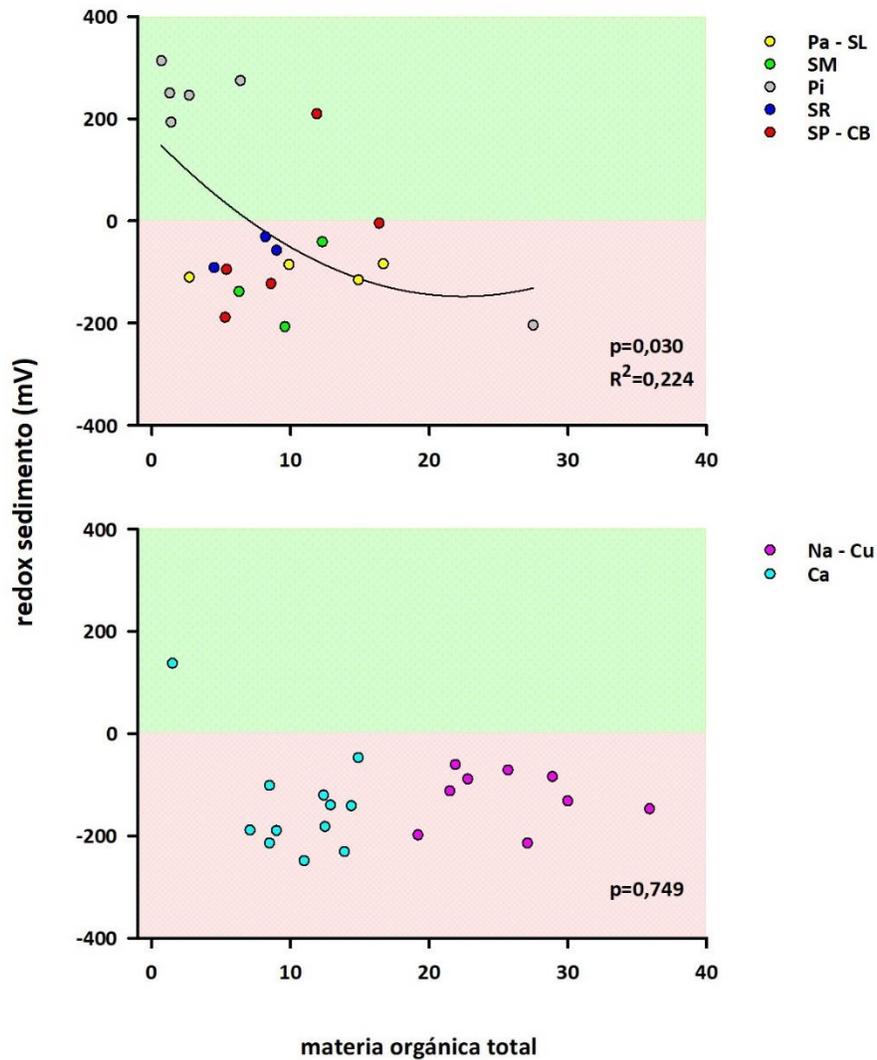
**Figura 14.** Resultados gráficos del análisis de regresión entre los valores de redox medidos el 12 y 13 de marzo 2024, en el agua de fondo y sedimentos subacuáticos de los sectores Pa - SM, Na - Cu, Pi, SM, Ca, SR y SP - CB (ver Fig.7). Nótese que no se detectaron correlaciones significativas ( $p > 0,05$ ) entre los valores de cada variable. Datos ordenados según sectores sin y con bajas de oxígeno en el agua durante el período de estudio (panel superior e inferior, respectivamente).

Tampoco se detectaron correlaciones significativas ( $p > 0,05$ ) entre los valores de redox *versus* porcentajes de fango (partículas con tamaños inferiores a 63 micrones) (Fig. 15).



**Figura 15.** Resultados gráficos del análisis de regresión entre los valores de redox medidos el 12 y 13 de marzo 2024, en los sedimentos subacuáticos de los sectores Pa - SM, Na - Cu, Pi, SM, Ca, SR y SP - CB (ver Fig.7) y el contenido de fango (partículas inferiores a 63 micrones), en los mismos. Nótese que no se detectaron correlaciones significativas ( $p > 0,05$ ) entre los valores de cada variable. Datos ordenados según estaciones sin y con bajas de oxígeno en el agua durante el período de estudio (panel superior e inferior, respectivamente).

La Figura 16 muestra correlaciones significativas ( $p < 0,05$ ) entre los valores de redox, medidos en los sedimentos subacuáticos y el contenido de materia orgánica total, pero solo para estaciones localizadas en sectores sin bajas de oxígeno en el agua del fondo.



**Figura 16.** Resultados gráficos del análisis de regresión entre los valores de redox medidos el 12 y 13 de marzo 2024, en los sedimentos subacuáticos de los sectores Pa - SM, Na - Cu, Pi, SM, Ca, SR y SP - CB (ver Fig.7) y el contenido de materia orgánica total, en los mismos. Se detectaron correlaciones significativas ( $p < 0,05$ ) entre los valores de cada variable estudiada en los sedimentos de los sectores sin baja de oxígeno en el agua. Datos ordenados según estaciones sin y con bajas de oxígeno en el agua durante el período de estudio (panel superior e inferior, respectivamente).

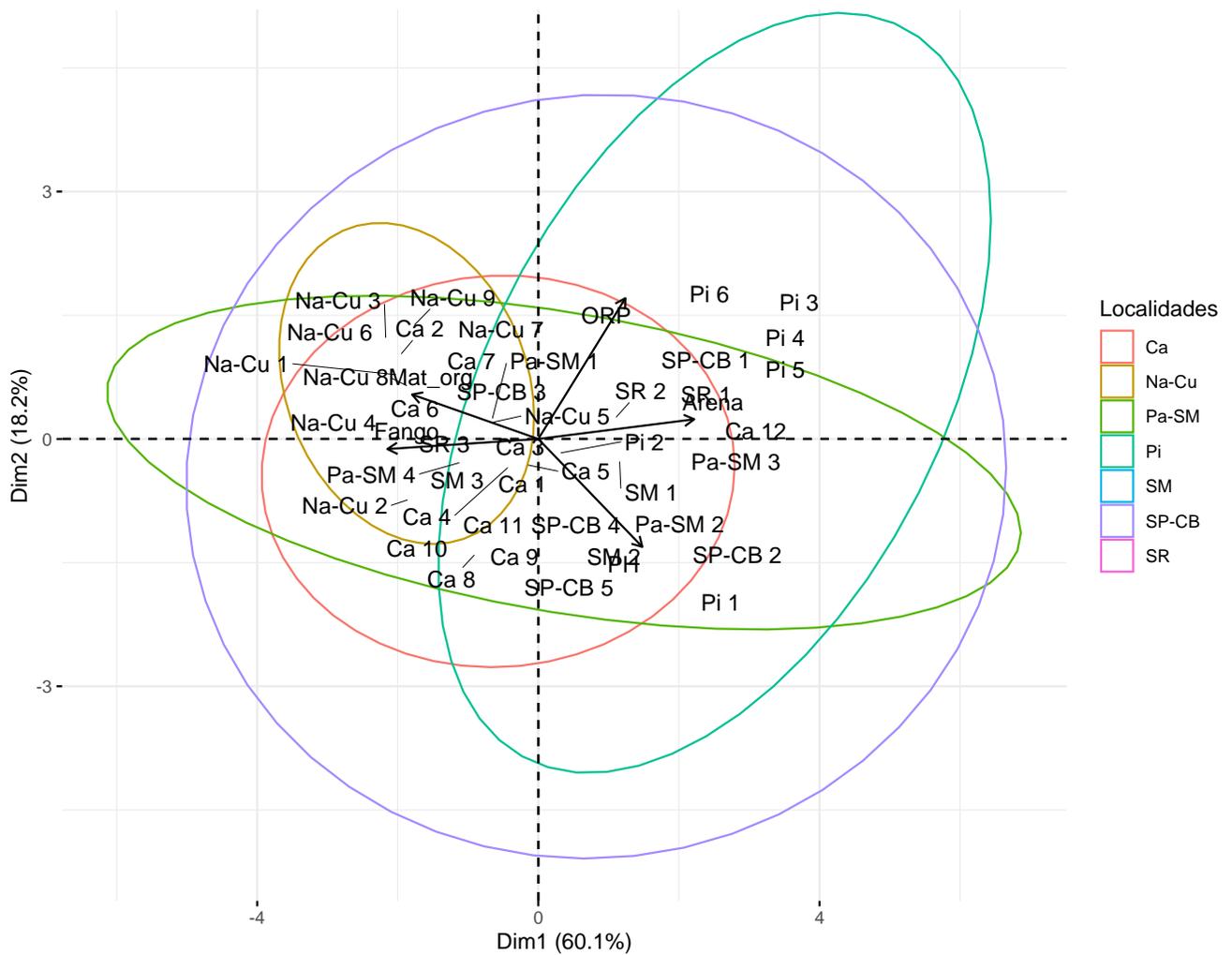
---

## **Análisis de Componentes Principales (ACP)**

La Figura 17, muestra los resultados del ACP, llevados a cabo para evaluar cual o cuales de las variables medidas en los sedimentos subacuáticos, tienen mayor peso en explicar la variabilidad observada en los datos recolectados (redox, pH, porcentajes de arena, fango y materia orgánica total), durante marzo 2024.

Aproximadamente, el 60% de la variabilidad del conjunto de datos analizado, es explicado por el Componente o Dimensión 1; a su vez, otro 18% de tal variabilidad es explicado por el Componente o Dimensión 2. En conjunto, ambos componentes explican cerca del 78% de la variabilidad observada. Los porcentajes de arena (partículas de 63-2000 micrones de diámetro) y fango (partículas inferiores a 63 micrones de diámetro), son las variables de mayor peso o “relevancia” en el Componente 1, a la vez que redox y pH, hacen lo propio en el Componente 2.

A pesar de lo anterior y a diferencia de lo observado para el ACP de agua - cuya representación gráfica muestra separación de sectores - y aún cuando los resultados del análisis del ACP de sedimentos entrega clara diferenciación de variables que contribuyen a cada componente, la representación gráfica del ACP sedimentos, no muestra una diferenciación categórica de estaciones, sino más bien, un conjunto de datos bastante homogéneo.



**Figura 17.** Resultados del Análisis de Componentes Principales, llevado a cabo con los valores de redox, pH y porcentajes de arena, fango y materia orgánica total, medidos durante marzo 2024 en los sedimentos subacuáticos de los siete sectores del humedal que se muestran en la Figura 7.

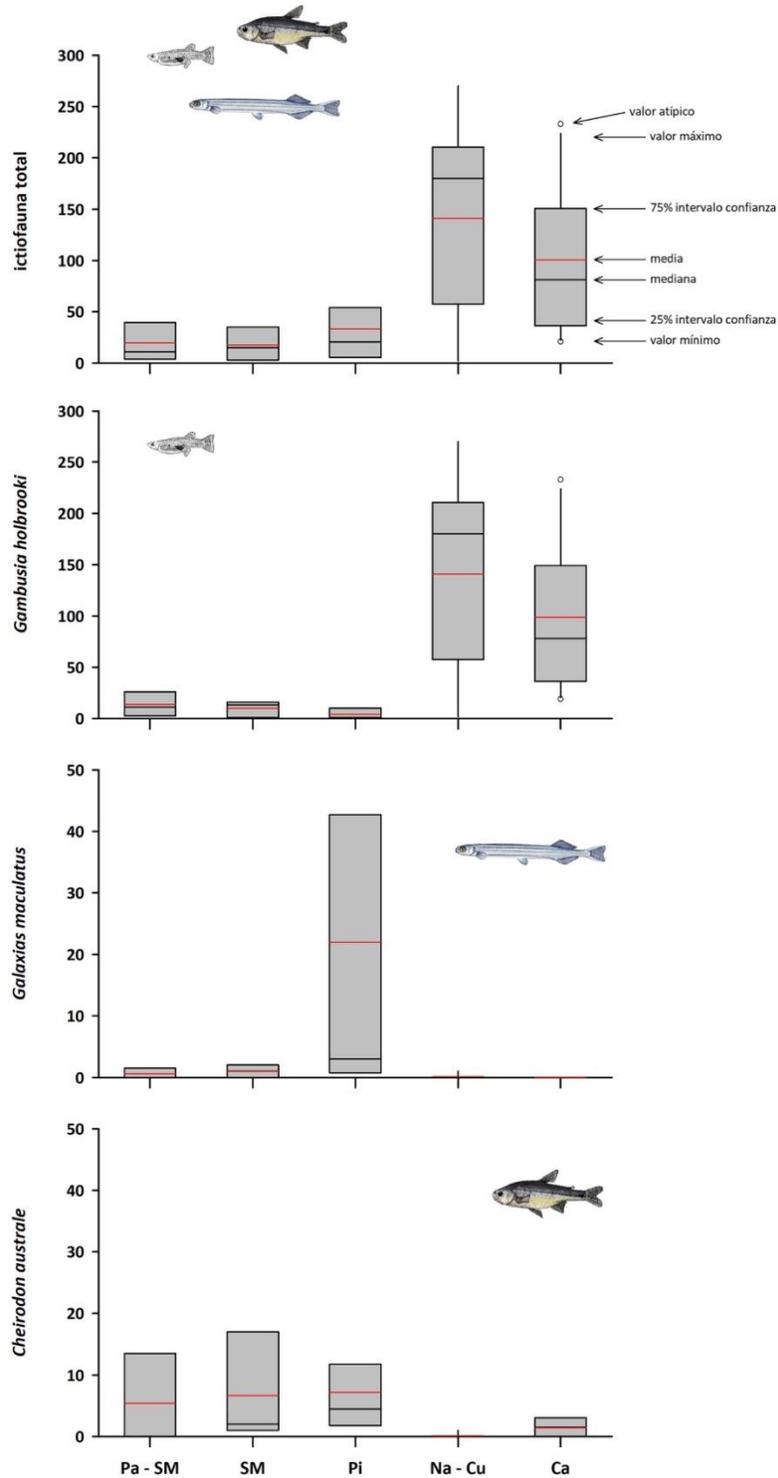
### 4.3. Ictiofauna de riberas

La ictiofauna del área de estudio se recolectó con sistema de pesca eléctrica (Fig. 18), en riberas cubiertas por macrófitas acuáticas. Estas incluyen *Egeria densa* (Luchecillo), *Ludwigia peploides* (Clavito de agua) y *Schoenoplectus californicus* (Totora).



**Figura 18.** Uso del sistema de pesca eléctrica para la recolección de ictiofauna, en riberas con dominancia de *Egeria densa* (panel izquierdo).

La Figura 19 y Tabla 1, muestran la variabilidad en las abundancias totales de la ictiofauna y en las de las especies de peces recolectados durante el período 12 - 15 de febrero 2024, en las riberas del área de estudio. Las abundancias totales y las de la especie introducida *Gambusia holbrooki* (Pez mosquito) fueron significativamente más altas ( $p < 0,05$ ) en los ríos Nanihue-Cudico y Cayumapu (aquellos con bajas de oxígeno en el agua de sus porciones superiores o internas), a la vez que las abundancias de las especies nativas *Galaxias maculatus* (Puye) y *Cheirodon australe* (Pocha), fueron significativamente más altas ( $p < 0,05$ ) en sectores sin bajas de oxígeno en el agua (Puye en Pichoy y Pocha en Paico-San Martín, Santa María y Pichoy) (Fig. 19 y Tabla 1).



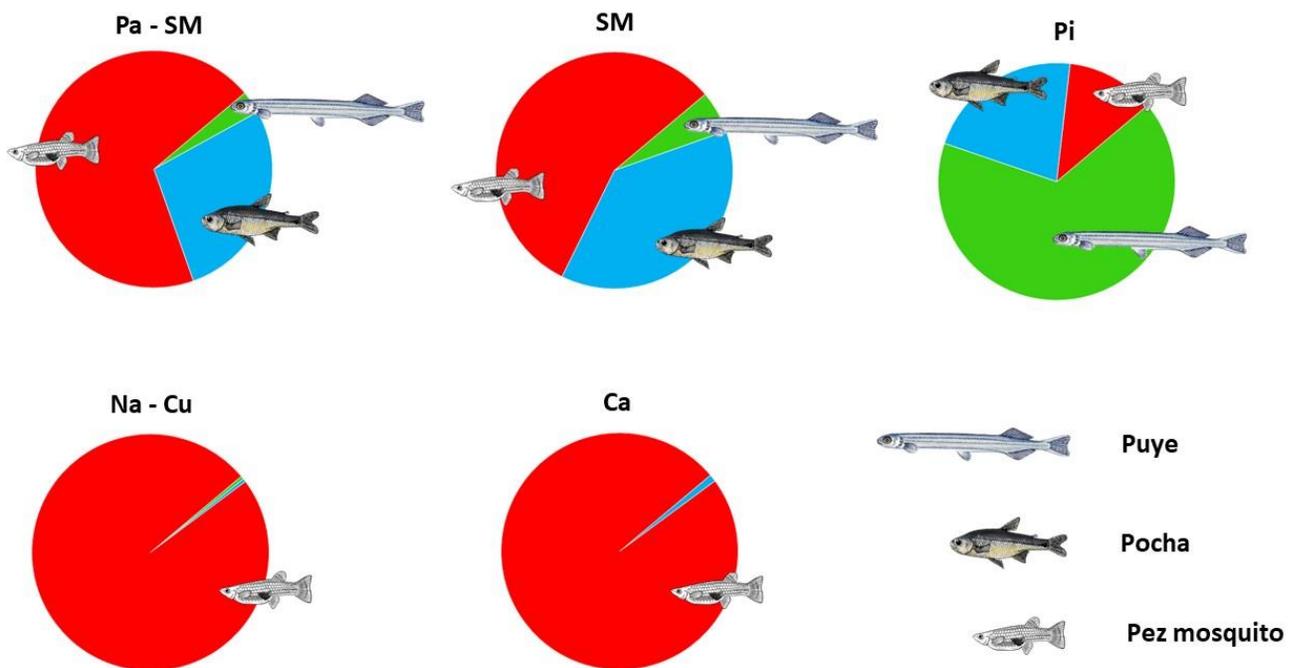
**Figura 19.** Abundancia total de la ictiofauna y de las especies *Gambusia holbrooki* (Pez mosquito), *Galaxias maculatus* (Puye) y *Cheirodon australe* (Pocha). Acrónimos para los sectores tal como en Fig.7.

**Tabla 1.** Resumen de ANDEVA y Prueba *a posteriori* de Tukey para evaluar eventuales diferencias espaciales (Sectores), en las abundancias de peces totales y abundancias de *Gambusia holbrooki*, *Galaxias maculatus* y *Cheirodon australe*. Datos provenientes de capturas realizadas durante febrero 2024, en cinco sectores del área de estudio (Pa-SM=Paico-San Martín, Na-Cu=Nanihué-Cudico, SM=río Santa María, Pi=río Pichoy y Ca=río Cayumapu). Los valores de p en negrilla son significativos ( $p < 0,05$ ) para cada prueba.

Parámetro	Fuente	GL	SC	CM	F	Valor P	Prueba de Tukey
<b>Abundancia total</b> (*)(**)	Sector	4	5,011	1,253	4,713	<b>0,005</b>	Na-Cu=Ca>Pa-SM; Pa-SM=Pi=SM
	Error	30	7,974	0,266			
	Total	34	12,985				
<b><i>Gambusia affinis</i></b> (*)(**)	Sector	4	14,342	3,586	12,445	<b>&lt;0,001</b>	Na-Cu=Ca>Pa-SM=Pi=SM
	Error	30	8,644	0,288			
	Total	34	22,986				
<b><i>Galaxias maculatus</i></b> (*)(***)	Sector	4	47,709	11,927	4,822	<b>0,004</b>	Pi>Ca=Na-Cu=Pa-SM=SM
	Error	30	74,203	2,473			
	Total	34	121,912				
<b><i>Cheirodon australe</i></b> (*)(***)	Sector	4	22,631	5,658	4,034	<b>0,010</b>	Pi>Na-Cu; Pi=Pa-SM=SM=Ca
	Error	30	42,071	1,402			
	Total	34	64,703				

GL = Grados de Libertad; SC = Suma de Cuadrados; CM = Cuadrados Medios; F = razón F; P = Valor de Probabilidad de error al rechazar  $H_0$ ; (\*) = Datos transformados  $\log_{10}$  o raíz cuadrada; (\*\*) = Cumple al menos un supuesto de ANDEVA; (\*\*\*) = No cumple supuestos de ANDEVA.

La Figura 20 es otro modo de representar la composición de la fauna íctica en el área de estudio: en sectores con bajas de oxígeno en el agua (ríos Nanihue y Cudico (Na - Cu) y río Cayumapu (Ca)), domina la especie introducida *Gambusia holbrooki* (pez mosquito). Por el contrario, en sectores del humedal sin bajas de oxígeno en el agua, la abundancia porcentual de esta especie disminuye en detrimento de las abundancias de peces nativos como el Puye (*Galaxias maculatus*) y la Pocha (*Cheirodon australe*); más aun, en el río Pichoy, el Puye fue la especie más abundante del sector (Fig. 20).



**Figura 20.** Representación porcentual de la ictiofauna en el área de estudio. Acrónimos para los sectores, tal como en Fig.7.

## 5. EL PRINCIPIO DE PARSIMONIA Y LA PRUEBA DE HIPOTESIS

### 5.1. Los antecedentes que conducen a la explicación del fenómeno (bajas de oxígeno en aguas del HRC)

La mortandad de carpas - detectada durante el período estival 2024 en el HRC - es coincidente con la detección de bajas de oxígeno en sectores específicos del humedal: las porciones superiores de los ríos Nanihue & Cudico y Cayumapu (Fig. 21). Ambas porciones tienen cauces estrechos y de baja profundidad y están en sectores relativamente protegidos del viento; es decir, en ambos sectores hay menor movimiento de agua que en otras áreas del humedal, las que en general son más extensas y con mayor exposición al viento; consecuentemente con mayor movimiento de agua.



**Figura 21.** Vistas aéreas de las porciones superiores de los ríos Cayumapu (izquierda) y Cudico (derecha).

Pero, ¿qué puede explicar que en la porción superior del río Cayumapu se hayan detectado durante el verano 2024, concentraciones más bajas de oxígeno que en los ríos Nanihue y Cudico? Para responder esta pregunta, es necesario recurrir a la siguiente observación: aproximadamente, en el centro de Villa Cayumapu se ubica la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de la misma (Fig. 22).



**Figura 22.** Ubicación de la PTAS (elipse roja) de Villa Cayumapu.

La PTAS de Villa Cayumapu se inauguró en mayo del año 2012 y como lo menciona una nota de la Radio Biobio (25 mayo, 2012); “la obra se construyó para 535 habitantes, el doble existente en la villa” (fuente de texto en cursiva: Radio Bio Bío; 25 mayo, 2012) (Fig. 23).

Notas

## Valdivia: Planta de tratamiento de aguas servidas de Villa Cayumapu será inaugurada este lunes

por Carlos López

Viernes 25 mayo de 2012 | 18:25

Leer más tarde



Este lunes será inaugurada la nueva planta de tratamiento de aguas servidas de la villa Cayumapu, en Valdivia. Vecinos han presentado dificultades sanitarias producto del rebalse de una fosa comunitaria.

Según confirmó a La Radio la municipalidad local, la obra corresponde al resultado del proyecto de diseño y construcción de una planta de tratamiento de las aguas servidas de la

localidad, cuyas faenas se iniciaron el 28 de febrero del año pasado, a cargo de la empresa DLC SA.

La inspector técnico municipal, la ingeniero constructor María José Cofré, indicó que la obra se proyectó para 535 habitantes, el doble existente en la villa.

**Figura 23.** Extracto de nota de Radio Biobio Chile (viernes 25 de mayo, 2012), haciendo alusión a la inauguración de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas, en Villa Cayumapu, Provincia de Valdivia (<https://www.biobiochile.cl/noticias/2012/05/25/valdivia-planta-de-tratamiento-de-aguas-servidas-de-villa-cayumapu-sera-inaugurada-este-lunes.shtml>).

La PTAS de Villa Cayumapu, combina elementos biológicos de lodos activos con masa fija y aireación mecánica e integra un sistema de desinfección y cloración por caudal (Fig. 24), evacuando las aguas ya depuradas y desinfectadas a un curso superficial (en este caso, al río Cayumapu, Fig. 25).

## Los vecinos de Cayumapu tendrán por fin su planta de aguas servidas

Cerca de 535 personas serán beneficiadas con esta planta luego que el Concejo Municipal aprobará el traspaso del terreno desde la junta de vecinos a la municipalidad, quienes construirán la estación.

03 de Mayo de 2011 | 12:51 | Por [Claudio Jiménez C. hjimenezc@australvaldivia.cl](mailto:hjimenezc@australvaldivia.cl)



El Concejo Municipal de Valdivia aprobó recientemente el traspaso indefinido de un terreno ubicado en el sector de Cayumapu, donde se encuentra la copa de agua y la fosa séptica, que pertenecía a la Junta de Vecinos N°44 y que ahora pasará a manos del municipio para construir en el lugar una planta de tratamiento de aguas servidas que beneficiará a 535 personas.

La empresa D.L.C. S.A. se adjudicó la obra, que en 90 días corridos deberá estar lista. El monto de la licitación fue de 159 millones 300 mil pesos, que serán pagados por la Subdirección de Desarrollo Regional, Subdere.

La planta será modular e integral, y tendrá sistema de tratamiento combinado, es decir será biológico de lodos activos y de masa fija con aireación mecánica. También tendrá un sistema de desinfección y cloración por caudal y evacuación de aguas depuradas y desinfectadas al curso de agua superficial.



**Figura 24.** Extracto de nota de medio periodístico SOYCHILE (3 de mayo 2011), haciendo alusión a la descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas, en Villa Cayumapu (<https://www.soychile.cl/Valdivia/Sociedad/2011/05/03/12315/Los-vecinos-de-Cayumapu-tendran-por-fin-su-planta-de-aguas-servidas.aspx>).



**Figura 25.** Zona de ubicación de la PTAS (elipse roja) de Villa Cayumapu y ribera donde aparentemente se descargan los efluentes de la misma (elipse amarilla).

A continuación se resume y esquematiza el proceso de tratamiento del efluente de una PTAS, como la de Villa Cayumapu. Por normativa ambiental, las características físicas y químicas del efluente de una planta como esta, deben ajustarse a las disposiciones contenidas en el Decreto Supremo 90 del año 2000, a fin de regular la eventual contaminación de ese efluente en el cuerpo acuático receptor (<https://portal.sma.gob.cl>). El esquema de la Figura 26 se ajusta a la descripción de la planta de Villa Cayumapu, al momento de su inauguración:

- i) Las aguas residuales llegan a la planta de tratamiento, para inicialmente pasar por procesos de pretratamiento, que incluyen cribado o tamizado para eliminar sólidos grandes, desarenado para quitar arena y otros sedimentos y desengrasado para extraer aceites y

---

grasas (tratamiento primario).

- ii) Después del pretratamiento, el agua fluye hacia los sedimentadores primarios, donde los sólidos suspendidos se asientan por gravedad, formando lodos que son removidos y tratados aparte.
- iii) El agua pasa al reactor biológico, el cual es básicamente un sistema de lodos activos (microorganismos que metabolizan y degradan la materia orgánica) con masa fija (bloques de plástico o mallas donde se adhieren los microorganismos (tratamiento secundario). Estos microorganismos son mantenidos en suspensión sobre la masa fija, y oxigenados mediante aireadores mecánicos, que suministran el oxígeno necesario para su metabolismo.
- iv) El agua tratada, pasa a una segunda etapa donde los lodos activos se separan del agua tratada (clarificación secundaria). Parte de los lodos separados, se reintegran al sistema de tratamiento a través de la recirculación al reactor biológico, mientras que la otra parte de los lodos son retirados para su posterior tratamiento.
- v) El agua tratada, antes de su descarga al cuerpo acuático receptor, pasa por un proceso de desinfección para eliminar patógenos; comúnmente, mediante la inyección de hipoclorito de sodio (NaClO). La dosificación de este compuesto, se ajusta según el caudal para asegurar una efectividad constante en distintas condiciones de flujo.
- vi) Finalmente, el agua - ya depurada y desinfectada - se evacúa a un curso de agua superficial (en este caso, al río Cayumapu). Antes de la descarga, se asume que se verifica que el efluente cumpla con la normativa ambiental.



**Figura 26.** Esquema de una PTAS como la de Villa Cayumapu.

## 5.2. Principio de parsimonia y la hipótesis

Una hipótesis científica, es una explicación tentativa de un fenómeno natural que debe comprobarse mediante investigación y de modo parsimonioso. A su vez, el Principio de Parsimonia, establece que, si dos hipótesis explican igualmente bien un fenómeno, siempre debe darse preferencia a aquella más simple y que tenga menos supuestos. Dicho de otro modo, en igualdad de condiciones, la explicación más sencilla suele ser la más probable.

La constatación durante el desarrollo de este estudio, de que las concentraciones más bajas de oxígeno disuelto en el agua superficial del humedal, ocurren en el sector interno o superior del río Cayumapu y de que, en la zona adyacente a ese sector, se ubica una PTAS, permiten presentar la siguiente hipótesis tendiente a explicar el fenómeno aquí estudiado:

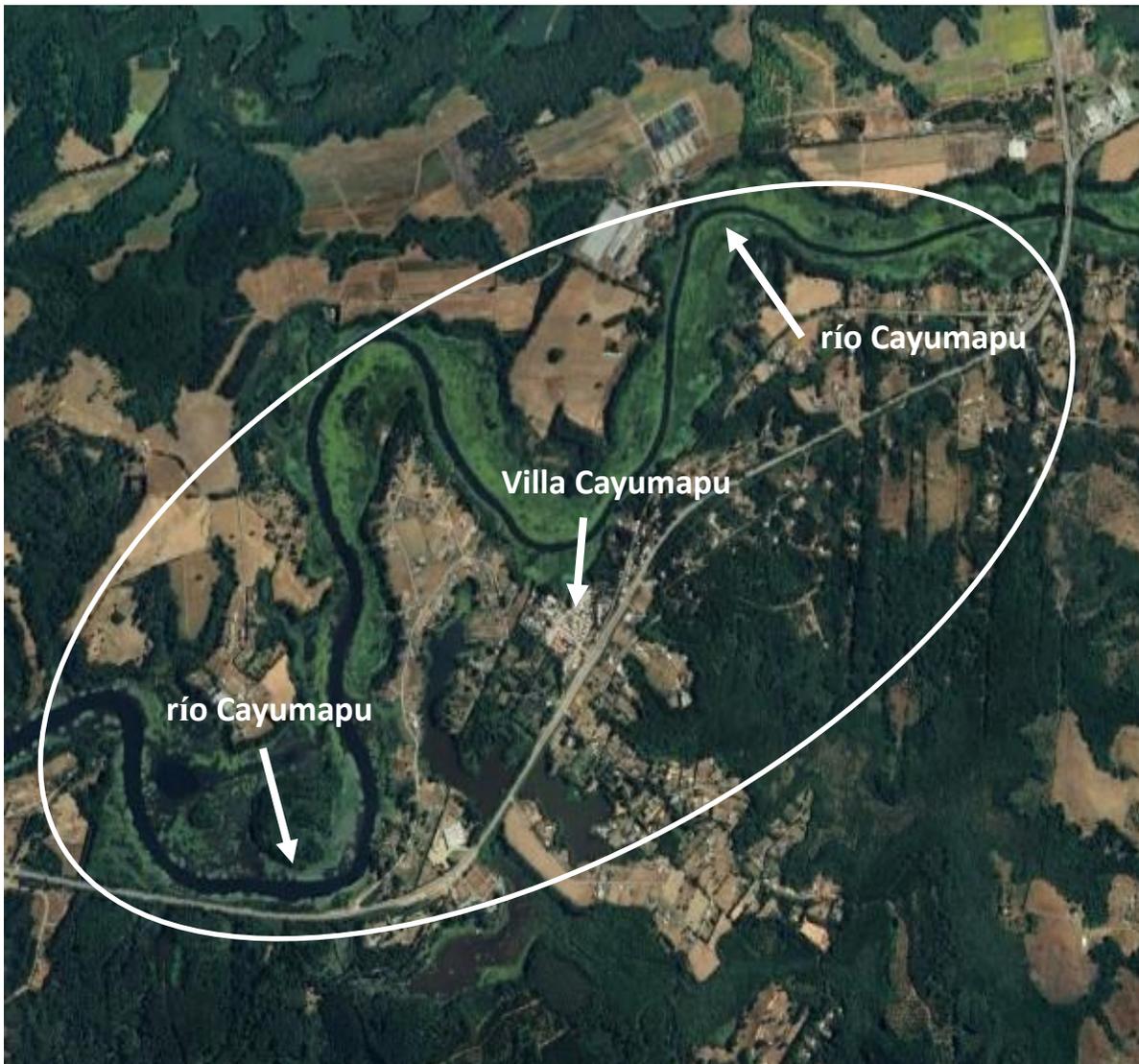
*“Las bajas de oxígeno que se han detectado en la parte superior del río Cayumapu, están relacionadas a la alta carga orgánica transportada por los efluentes de la PTAS a las riberas de ese sector del mismo río y a la presencia de Cloro libre residual”.* En otras palabras, el fenómeno estudiado daría cuenta de un funcionamiento no adecuado de esa planta.

Lo anterior permite predecir que:

- i) Las concentraciones de Cloro libre residual en el agua superficial, disminuyen a medida que aumenta la distancia a las riberas donde aparentemente se descargan los efluentes de la PTAS.
- ii) Si lo anterior es así, el agua superficial y los sedimentos subacuáticos aledaños a la zona de descarga de efluentes de la PTAS, tienen concentraciones más altas de AOX (compuestos orgánicos halogenados adsorbibles), cuyo origen está relacionado a ocurrencia de una alta carga orgánica y Cloro en el agua).

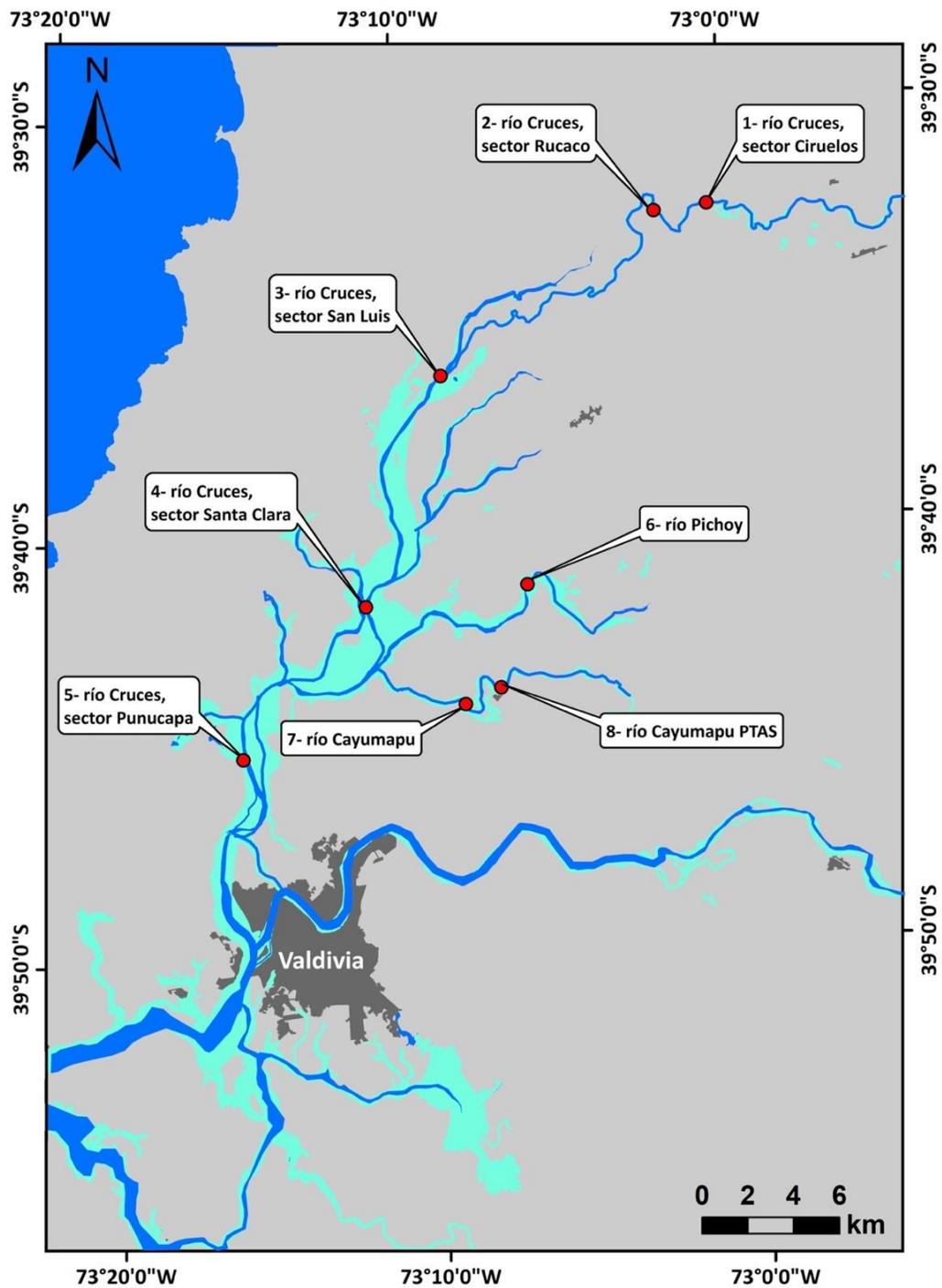
Para evaluar las predicciones de la hipótesis anteriormente planteada, se realizaron las siguientes actividades y análisis de laboratorio:

- i) Mediciones de Cloro libre residual en el sector superior del río Cayumapu (Fig. 27), mediante uso de equipo Colorímetro Cheker HANNA. Muestreos realizados durante marzo 2024.



**Figura 27.** Elipse que delimita el sector superior del río Cayumapu, desde donde se obtuvieron muestras de agua superficial para mediciones *ex situ* de contenidos de Cloro libre residual.

- ii) Obtención de muestras de agua superficial y sedimentos subacuáticos (abril 2024), en sector aledaño a zona de Villa Cayumapu, donde se ubica la PTAS (esta 8 en Fig. 28).

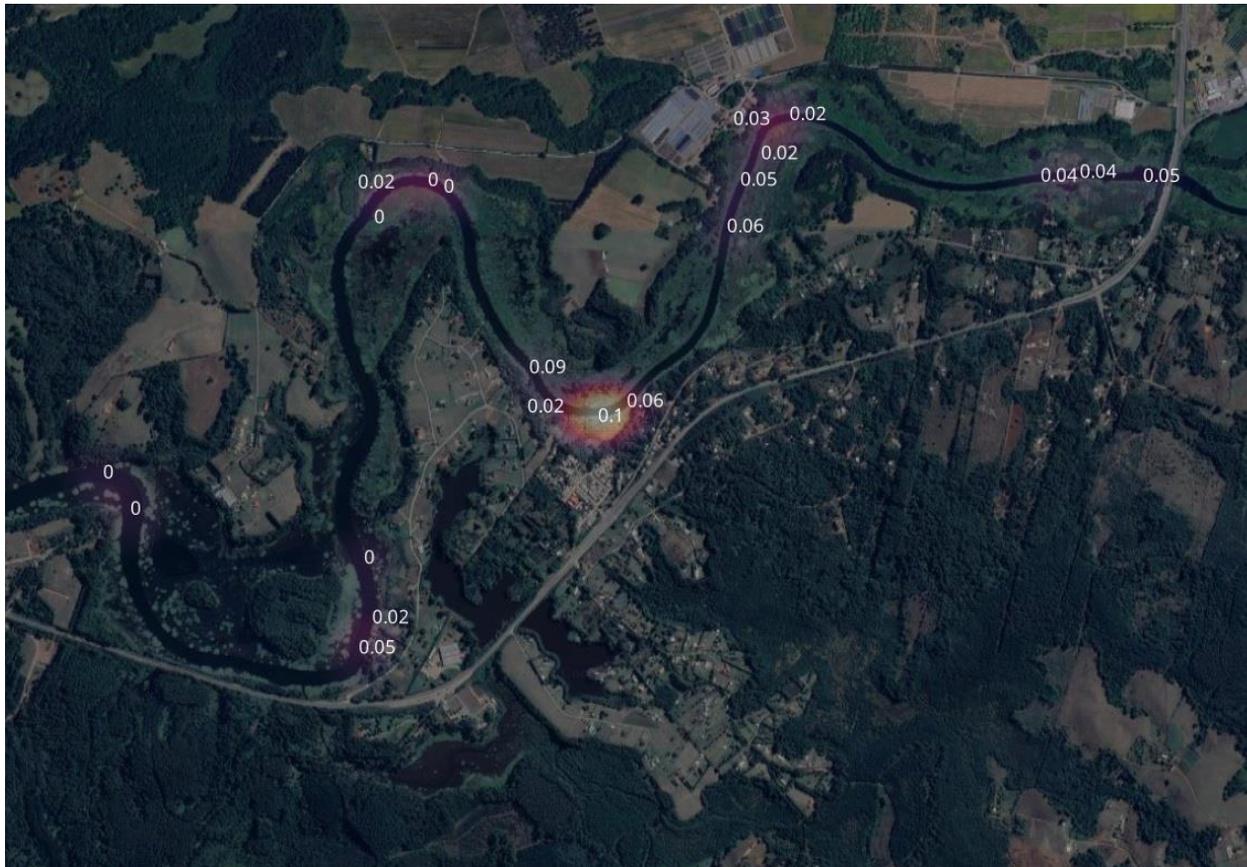


**Figura 28.** Ubicación de la estación 8 en el río Cayumapu, sector de disposición de los efluentes de la PTAS de Villa Cayumapu.

- iii) Envío de esas muestras al Laboratorio de Oceanografía Química de la Universidad de Concepción para análisis de: concentraciones de Aluminio, Cadmio, Cobre, Hierro, Mercurio, Plomo y Zinc disueltos e Hierro y Aluminio particulados, AOX y Ácidos grasos en la matriz de agua y AOX, EOX, Carbono orgánico total, Ácidos grasos, Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (EQTs).

## 6. RESULTADOS DE ESTUDIOS REALIZADOS PARA EVALUAR LA HIPOTESIS DE TRABAJO

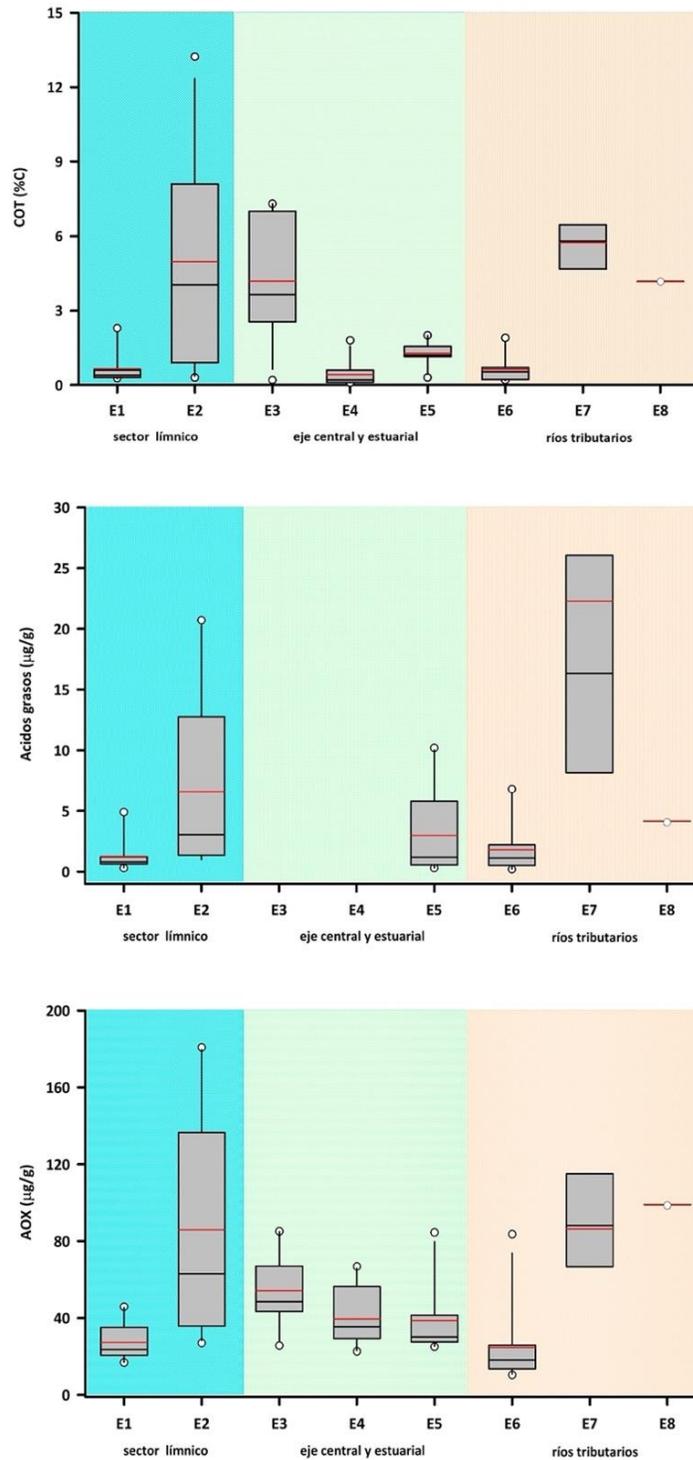
La Figura 29, muestra la presencia de Cloro libre residual en la mayor parte del sector superior del río Cayumapu; las concentraciones más altas se midieron en las riberas adyacentes a la zona donde aparentemente se descargan los efluentes de la PTAS de Villa Cayumapu (Fig. 29).



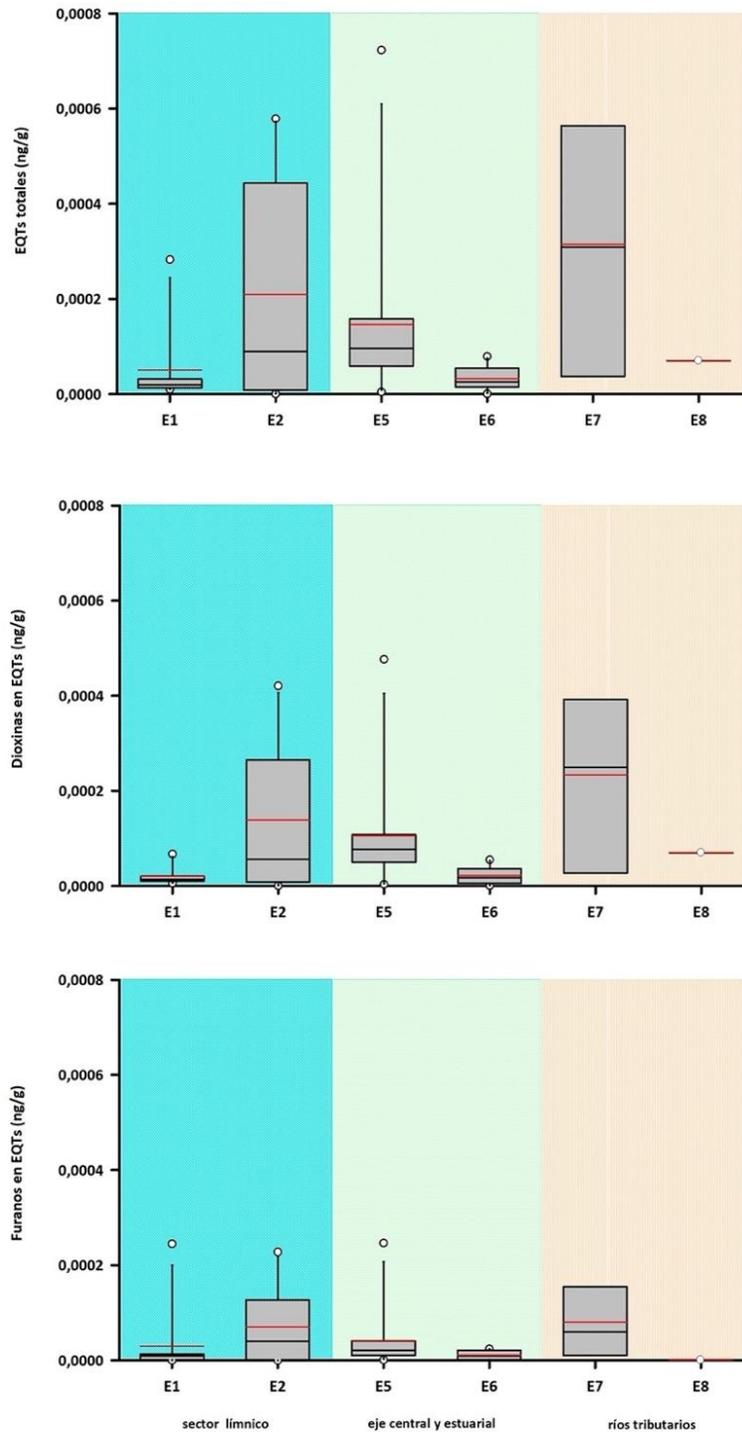
**Figura 29.** Concentraciones de Cloro libre residual en el agua superficial del sector adyacente a la PTAS de Villa Cayumapu. La mancha coloreada de tonos cálidos señala la zona donde se midieron las concentraciones más altas de Cloro libre residual (*i.e.*, cercana a zona de descarga de efluentes de la PTAS; cf. Fig. 29).

La Figura 30 muestra los porcentajes de Carbono Orgánico Total y concentraciones de Ácidos Grasos y AOX, en los sedimentos subacuáticos del área de estudio. La comparación con otras estaciones del HRC, muestra altos contenidos y porcentajes de estos compuestos en los sedimentos de la estación 7, y aparentemente también en los de la estación 8 (aún cuando para esa última estación, solo hay datos para una temporada).

Similar a lo mostrado en la Figura 31, las concentraciones de EQTs, Dioxinas y Furanos en sedimentos de la estación 7 y aparentemente también en los de la estación 8, son más altas que otras estaciones del HRC (Fig. 31).



**Figura 30.** Porcentajes de Carbono Orgánico Total y concentraciones de Ácidos grasos y AOX, en los sedimentos subacuáticos del área de estudio. Los valores corresponden a datos obtenidos durante abril de los años 2014 a 2024.



**Figura 31.** Concentraciones de Equivalentes tóxicos (EQTs), Dioxinas y Furanos, en los sedimentos subacuáticos del área de estudio. Los valores corresponden a datos obtenidos durante abril de los años 2014 a 2024.

---

## 7. CONCLUSIONES

Los resultados de los análisis realizados en este estudio, corresponden a muestreos puntuales limitados en espacio y tiempo y por lo mismo, tienen un grado de incertidumbre. No obstante, lo anterior, puede concluirse que:

- i) La mortandad de carpas en el HRC, está restringida primariamente al período estival cuando las temperaturas del agua son más altas y consecuentemente, la solubilidad de oxígeno es más baja.
- ii) No se han detectado otras especies de peces muertos en el HRC, lo que puede estar relacionado a la capacidad de especies como el Puye (*Galaxias maculata*) de disminuir sus consumos de oxígeno, acorde disminuciones de este elemento en el agua, además de realizar emersión facultativa tomando oxígeno del aire (Urbina & Glover, 2012 y Urbina *et al.*, 2012).
- iii) En este estudio (enero-marzo 2024), se midieron las concentraciones más bajas de oxígeno disuelto en el agua superficial de los sectores superiores o cabezales de los ríos Nanihue & Cudico y Cayumapu (especialmente en este último).
- iv) Las concentraciones más bajas de oxígeno en el agua superficial del área de estudio, se midieron en la misma zona donde se detectó Cloro residual en el agua (sector superior del río Cayumapu).
- v) Los sedimentos subacuáticos del sector superior del río Cayumapu (estaciones 7 y 8) muestran un enriquecimiento de Carbono Orgánico Total, Ácidos grasos y AOX, con respecto a los de otros ríos.
- vi) Lo anterior, es coincidente con la cercanía de esos sedimentos enriquecidos a las

riberas, donde aparentemente se vierten los efluentes de la PTAS de Villa Cayumapu.

- vii) Consecuentemente, la hipótesis más plausible para explicar las bajas de oxígeno en el sector de Cayumapu, es el funcionamiento (en este caso deficitario) de la PTAS de Villa Cayumapu (ver punto 5 de este Informe).

## 8. DISCUSION

Para llegar a las conclusiones antes planteadas, es necesario tener presente que el consumo de oxígeno en un cuerpo acuático receptor aledaño a una PTAS, ocurre tanto por procesos biológicos (descomposición de materia orgánica residual por microorganismos), como por procesos químicos (oxidación de materia orgánica por eventual presencia de  $\text{NaClO}$ ). Ambos procesos, resultan en disminución de oxígeno en ese cuerpo hídrico.

El esquema de la Figura 32 ilustra el funcionamiento de modo normal de una PTAS. Ese funcionamiento, consiste en evacuar aguas tratadas al medio acuático receptor; es decir, aguas cuya calidad es acorde estándares de calidad ambiental y consecuentemente, el proceso no resulta en alteración del medio ambiente natural por aporte de contaminantes a ese medio acuático.

**PTAS funcionando adecuadamente: acorde a los parámetros de diseño.**



**Figura 32.** Esquema de una PTAS operando acorde parámetros de diseño.

A continuación, se describe el complemento de algunos de los escenarios posibles que sustentan la hipótesis planteada:

- i) **PTAS funcionando con desequilibrio operacional, debido a sobre carga de materia orgánica en el afluente:** hay sobre carga, debido probablemente al crecimiento de los usuarios de la PTAS (Fig. 33).

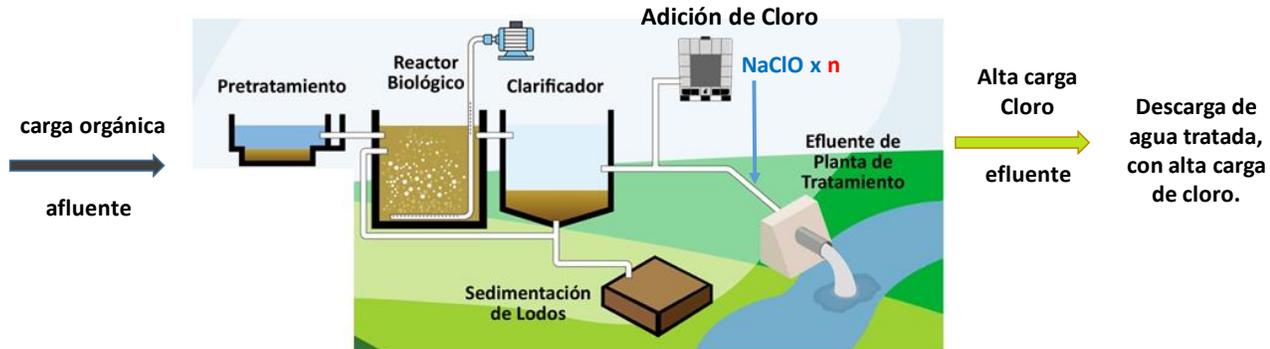
**PTAS funcionando en desequilibrio: sobrecarga de materia orgánica**



**Figura 33.** Esquema de una PTAS operando en desequilibrio operacional, debido a sobre carga de materia orgánica.

- ii) **PTAS funcionando con desequilibrio operacional, debido a dosificación inadecuada de  $\text{NaClO}$ :** hay exceso de  $\text{NaClO}$  en los efluentes de la planta, ya sea por dosificación imprecisa de este compuesto o escaso tiempo de contacto del mismo con la materia orgánica dentro de la planta de tratamiento (consecuentemente, el agente oxidante no es consumido dentro de la planta) (Fig. 34). El escaso tiempo de contacto del  $\text{NaClO}$  con la materia orgánica a tratar, puede deberse, por ejemplo, a aumento del caudal de entrada que llega a la planta.

**PTAS funcionando en desequilibrio: dosificación inadecuada NaClO (exceso o déficit)**



**Figura 34.** Esquema de una PTAS operando en desequilibrio operacional, debido a sobre carga de NaClO.

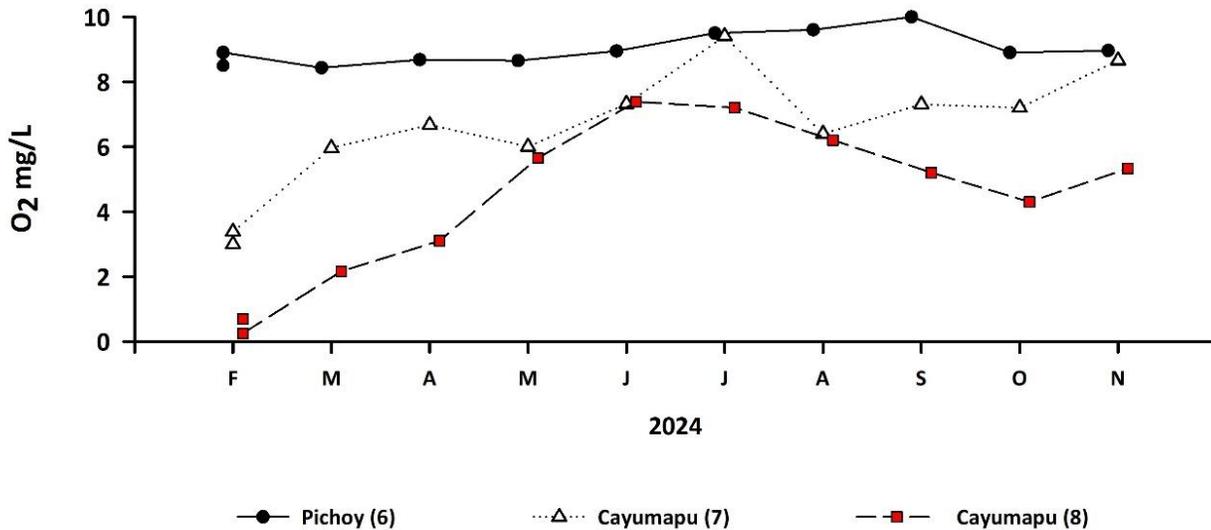
La co - ocurrencia de los escenarios i y ii anteriormente descritos - además del incremento de la temperatura ambiental durante el período estival - resulta en una baja de oxígeno en el cuerpo acuático receptor (en este caso, el sector superior del río Cayumapu), debido a:

- i) Aumento de la actividad microbiana, dada la abundancia de recursos (materia orgánica) y la temperatura del agua.
- ii) Aumento del consumo de oxígeno, debido a reacción química de oxidación de la materia orgánica por el NaClO.
- iii) Aumento del consumo de oxígeno por formación de AOX, debido a la reacción entre Cloro y la alta carga orgánica presente en el medio acuoso.

**9. CONTENIDOS DE OXIGENO A NOVIEMBRE 2024 (sector superior río Cayumapu)**

Datos recientes (Fig. 35) obtenidos entre febrero y noviembre 2024, muestran que las bajas de oxígeno disuelto en el agua superficial del sector superior del río Cayumapu, se atenúan entre los meses de mayo y agosto. En otras palabras, durante esos meses y con respecto al período estival, las concentraciones de oxígeno aumentan en el sector antes mencionado. Al

momento de terminar este informe (noviembre 2024), los contenidos de oxígeno en el sector superior del río Cayumapu muestran tendencia a la baja y se han encontrado carpas muertas en áreas cercanas a este río.



**Figura 35.** Variabilidad de la concentración de oxígeno disuelto en el agua superficial del sector superior del río Cayumapu (estaciones 7 y 8; cf. Fig. 28), durante el período febrero - noviembre 2024. Se agregan con fines comparativos, los datos de concentración de oxígeno en el sector medio del río Pichoy (estación 6, Fig. 27).

EL DESARROLLO DE ESTE ESTUDIO HA ESTADO BASADO EN EL PRINCIPIO DE PARSIMONIA Y EL USO DEL METODO HIPOTETICO DEDUCTIVO. NO OBSTANTE, LA CIENCIA NO ES DUEÑA DE LA VERDAD, SINO QUE AYUDA A ENCONTRAR LA VERDAD. POR LO MISMO, LAS CONCLUSIONES DE ESTE ESTUDIO Y EL ESCENARIO HIPOTETICO PARA EXPLICAR LAS BAJAS DE OXIGENO EN EL AGUA DEL SECTOR SUPERIOR DEL RIO CAYUMAPU, NO SON CATEGORICAS, SINO EVENTUALMENTE SUJETAS A CAMBIOS. ESTOS PODRÍAN OCURRIR POR EL ANÁLISIS DE MAS O NUEVOS ANTECEDENTES ACERCA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAS DE VILLA CAYUMAPU Y DE LA CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS DEL MISMO RIO.

## 10. REFERENCIAS

Anderson, F., L, Black, L, Mayer & L. Watling 1981. A temporal and spatial study of mudflat texture. *North Eastern Geology* 3: 184-196.

Kassambara A, Mundt F (2020). *\_factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses\_*. R package version 1.0.7, <<https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>>.

Sebastien Le, Julie Josse, Francois Husson (2008). *FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis*. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1-18. 10.18637/jss.v025.i01

R Core Team (2023). *\_R: A Language and Environment for Statistical Computing\_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

Urbina, M.A., Glover, Ch.N. (2012). Should I stay or should I go?: Physiological, metabolic and biochemical consequences of voluntary emersion upon aquatic hypoxia in the scale less fish *Galaxias maculatus*. *Journal of Comparative Physiology B*, 182: 1057-1067.

Urbina, M.A., Glover, Ch.N., Forster, M.E.(2012). A novel oxy conforming response in the freshwater fish *Galaxias maculatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 161: 301-306.

## 11. EQUIPO DE TRABAJO

Dr. Eduardo Jaramillo, Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile (Investigador Encargado).

Dr. Leonardo Bacigalupe, Instituto de Ciencias Ambientales y Evolutivas, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile (análisis multivariados de datos de agua y sedimentos).

Lic. Biol. Mar. César Barrales, adscrito a equipo de investigación de E Jaramillo (logística de terreno, confección gráficos y estadística univariada).

Biol. Mar. Jonathan Vergara, adscrito a equipo de investigación de E Jaramillo (muestreos de terreno).

Químico Industrial Luis Bustamante, adscrito a equipo de investigación de E Jaramillo (muestreos de terreno y diagrama de funcionamiento plantas de tratamiento aguas servidas).

Biol. Mar. Ignacio Garrido, Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile (buceos para obtención de muestras de sedimentos sub - acuáticos).

MSci. Marcia González, adscrita a equipo de investigación de E Jaramillo (administración y revisión editorial).

# **ANEXO:**

## **DATA FÍSICO & QUÍMICA DE AGUA SUPERFICIAL Y DE SEDIMENTOS SUBACUATICOS**

**(ABRIL 2024),  
DE ESTACION SUPERNUMERIARA DEL MONITOREO  
AMBIENTAL DEL HRC**

---

## CONTEXTO

A continuación, se muestra la base de datos (Tablas 1 y 2) entregada por el Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ) de la Universidad de Concepción, correspondiente a resultados de muestreos de las matrices agua superficial y sedimentos subacuáticos del HRC, llevados a cabo en abril 2024.

Durante esos muestreos, se agregó un nuevo sitio al grupo de estaciones, donde se monitorea estacionalmente calidad de agua y sedimentos desde el año 2014, como parte del Programa de Monitoreo Ambiental del HRC. Esta nueva estación es la 8 (Fig. 28 de este Informe), ubicada en las cercanías de la ribera donde aparentemente se descargan los efluentes de la PTAS de Villa Cayumapu.

Debido a que para la estación 8, solo existe una temporada de caracterización de sus matrices agua superficial y sedimentos subacuáticos, no es posible realizar comparaciones estadísticas con los datos de otras estaciones del HRC. No obstante, se han utilizados los datos de porcentaje de Carbono Orgánico Total y concentraciones de Acidos Grasos y AOX en los sedimentos subacuáticos, para solo comparar gráficamente con los datos históricos de otras estaciones de muestreo.

Debido a lo anteriormente expuesto, se propone, que al menos para el período de bajo caudal hídrico (abril), se sigan realizando muestreos en la estación 8, a fin de obtener datos de calidad de agua superficial y de sedimentos subacuáticos en la misma y así seguir evaluando la hipótesis analizada en este estudio, a fin de explicar las bajas de oxígeno en el agua del sector superior del río Cayumapu.

**Tabla 1.** Planilla con resultados de los análisis químicos realizados por el Laboratorio de Oceanografía Química de la Universidad de Concepción (LOQ), en las matrices agua superficial y sedimentos subacuáticos del HRC. Estos datos corresponden a las 7 estaciones históricas del Monitoreo HRC (1 a 7) y la estación supernumeraria (8) (ver CONTEXTO). Se destacan en rojo, los datos de la estación 8 ubicada en las cercanías de las riberas donde aparentemente se vierten los efluentes de la PTAS de Villa Cayumapu.

Resultados, MONITOREO RIO CRUCES, ABRIL 2024  
 MATRIZ: AGUA DE RIO (08)

N°Corr.	Id. Muestra	Metales Disueltos						Metales Particulados						
		Al ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Cd ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Cu ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Fe ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Hg ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Pb ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Zn ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Al ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Fe ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	SST(Al y Fe) ( $\text{mg L}^{-1}$ )	AOX ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Ac. Grasos ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Ac. Resínicos ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
1	MHRC Est.1	8,11	<0,015	0,28	184,80	<0,50	0,024	2,51	64591	233375	0,68	10,85	0,055	<0,080
2	MHRC Est.2	8,64	<0,015	0,62	198,03	<0,50	<0,015	0,91	31706	93583	1,62	20,00	0,057	<0,080
3	MHRC Est.3	7,23	<0,015	0,33	166,52	<0,50	0,019	0,92	30908	100374	0,95	27,64	0,054	<0,080
4	MHRC Est.4	7,40	<0,015	0,37	79,03	<0,50	<0,015	1,04	49225	55670	2,82	30,28	0,052	<0,080
5	MHRC Est.5	8,04	<0,015	0,42	49,50	<0,50	<0,015	0,94	74129	80070	1,90	13,01	0,053	<0,080
6	MHRC Est.6	9,46	<0,015	0,66	231,68	<0,50	0,017	<0,90	25886	63442	8,96	13,66	0,055	<0,080
7	MHRC Est.7	4,89	<0,015	0,52	126,51	<0,50	0,020	1,21	60191	99629	2,15	21,96	0,060	<0,080
8	MHRC Est.8	6,05	<0,015	0,38	164,05	<0,50	0,017	1,48	44042	135672	1,64	26,51	0,060	<0,080
Limite de Detección		0,20	0,004	0,03	0,05	0,10	0,004	0,25	35,00	9,00	***	1,10	0,008	0,020
Limite de Cuantificación		0,70	0,015	0,10	0,20	0,50	0,015	0,90	60,00	40,00	***	4,00	0,024	0,080

MATRIZ: SEDIMENTO RIO (08)

N°Corr.	Id. Muestra	AOX ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	EOX ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	TOC (%C)	Ac. Grasos ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Ac. Resínicos ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Dioxinas ( $\text{ng g}^{-1}$ )	Furanos ( $\text{ng g}^{-1}$ )
1	MHRC Est.1 (Ciruelo)	35,13	< 1,00	0,45	0,639	<0,007	0,00300	0,00000
2	MHRC Est.2 (Rucaco)	53,12	< 1,00	4,03	1,663	<0,007	0,03328	0,00149
3	MHRC Est.3 (San Luis)	56,89	< 1,00	3,30	***	***	***	***
4	MHRC Est.4 (Santa Clara)	61,95	< 1,00	0,10	***	***	***	***
5	MHRC Est.5 (Punucapa)	30,16	< 1,00	1,14	0,446	<0,007	0,01603	0,0002
6	MHRC Est.6 (Pichoy)	13,59	< 1,00	0,30	0,539	<0,007	0,03328	0,00149
7	MHRC Est.7 (Cayumapu)	95,84	< 1,00	9,23	3,191	<0,007	0,01852	0,00489
8	MHRC Est.8 (Cayumapu B)	98,97	< 1,00	9,79	4,166	<0,007	0,05411	0,00386
Limite de Detección		2,00	0,30	***	0,007	0,002	0,00001	0,00001
Limite de Cuantificación		7,00	1,00	***	0,021	0,007	0,00003	0,00003

**Tabla 2.** Planilla con resultados de los análisis de Dioxinas, Furanos y Equivalentes Tóxicos (EQTs) realizados por el Laboratorio de Oceanografía Química de la Universidad de Concepción (LOQ), en la matriz sedimentos subacuáticos del HRC. Estos datos corresponden a parte de las 7 estaciones históricas del Monitoreo HRC (Ciruelos, Rucaco, Punucapa y Cayumapu; cf. Fig. 28 de Informe) y la estación supernumeraria (8) (ver CONTEXTO). Se destacan en rojo, los datos de la estación 8 ubicada en las cercanías de las riberas donde aparentemente se vierten los efluentes de la PTAS de Villa Cayumapu.

**Resultados, MONITOREO RÍO CRUCES, ABRIL 2024**

**MATRIZ : SEDIMENTO RÍO (05)**

**Id. Muestra : MRCS 0100. CIRUELOS**

**N° Registro : 2400155**

Congénere	Concentración (ng g <sup>-1</sup> )	FEQ OMS-2005	EQTs (ng g <sup>-1</sup> )	LD (ng g <sup>-1</sup> )	Recuperación (%)
2.3.7.8-TCDD	*	1,0000	0,00000	0,00004	73
1.2.3.7.8-PeCDD	*	1,0000	0,00000	0,00008	79
1.2.3.4.7.8-HxCDD	0,00010	0,1000	0,00001	0,00006	92
1.2.3.6.7.8-HxCDD	*	0,1000	0,00000	0,00006	93
1.2.3.7.8.9-HxCDD	*	0,1000	0,00000	0,0001	**
1.2.3.4.6.7.8-HpCDD	0,00024	0,0100	0,00000	0,00006	78
OCDD	0,00266	0,0003	0,00000	0,00071	79
<b>∑ Dioxinas</b>	<b>0,00300</b>	<b>∑ EQTs Dioxinas</b> <sup>NA/NE</sup>	<b>0,00001</b>		
2.3.7.8-TCDF	*	0,1000	0,00000	0,00009	75
1.2.3.7.8-PeCDF	*	0,0300	0,00000	0,00006	82
2.3.4.7.8-PeCDF	*	0,3000	0,00000	0,00011	69
1.2.3.4.7.8-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00009	84
1.2.3.6.7.8-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00011	81
1.2.3.7.8.9-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00003	73
2.3.4.6.7.8-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00004	88
1.2.3.4.6.7.8-HpCDF	*	0,0100	0,00000	0,00003	81
1.2.3.4.7.8.9-HpCDF	*	0,0100	0,00000	0,00003	86
OCDF	*	0,0003	0,00000	0,00024	**
<b>∑ Furanos</b>	<b>0,00000</b>	<b>∑ EQTs Furanos</b> <sup>NA/NE</sup>	<b>0,00000</b>		
<b>∑ EQTs</b>			<b>0,00001</b>		

**Id. Muestra : MRCS 0200. Rucaco**

**N° Registro : 2400156**

Congénere	Concentración (ng g <sup>-1</sup> )	FEQ OMS-2005	EQTs (ng g <sup>-1</sup> )	LD (ng g <sup>-1</sup> )	Recuperación (%)
2.3.7.8-TCDD	*	1,0000	0,00000	0,00004	78
1.2.3.7.8-PeCDD	*	1,0000	0,00000	0,00008	55
1.2.3.4.7.8-HxCDD	0,00019	0,1000	0,00002	0,00006	73
1.2.3.6.7.8-HxCDD	*	0,1000	0,00000	0,00006	74
1.2.3.7.8.9-HxCDD	*	0,1000	0,00000	0,0001	**
1.2.3.4.6.7.8-HpCDD	0,00216	0,0100	0,00002	0,00006	61
OCDD	0,03093	0,0003	0,00001	0,00071	56
<b>∑ Dioxinas</b>	<b>0,03328</b>	<b>∑ EQTs Dioxinas</b> <sup>NA/NE</sup>	<b>0,00005</b>		
2.3.7.8-TCDF	*	0,1000	0,00000	0,00009	61
1.2.3.7.8-PeCDF	*	0,0300	0,00000	0,00006	53
2.3.4.7.8-PeCDF	0,00011	0,3000	0,00003	0,00011	52
1.2.3.4.7.8-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00009	70
1.2.3.6.7.8-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00011	63
1.2.3.7.8.9-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00003	60
2.3.4.6.7.8-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00004	74
1.2.3.4.6.7.8-HpCDF	0,00044	0,0100	0,00000	0,00003	56
1.2.3.4.7.8.9-HpCDF	*	0,0100	0,00000	0,00003	59
OCDF	0,00094	0,0003	0,00000	0,00024	**
<b>∑ Furanos</b>	<b>0,00149</b>	<b>∑ EQTs Furanos</b> <sup>NA/NE</sup>	<b>0,00004</b>		
<b>∑ EQTs</b>			<b>0,00009</b>		

**Id. Muestra** : MRCS 0500. Punucapa  
**N° Registro** : 2400154

<i>Congénera</i>	<i>Concentración (ng g<sup>-1</sup>)</i>	<i>FEQ OMS-2005</i>	<i>EQTs (ng g<sup>-1</sup>)</i>	<i>LD (ng g<sup>-1</sup>)</i>	<i>Recuperación (%)</i>
2.3.7.8-TCDD	*	1,0000	0,00000	0,00004	61
1.2.3.7.8-PeCDD	*	1,0000	0,00000	0,00008	68
1.2.3.4.7.8-HxCDD	0,00010	0,1000	0,00001	0,00006	88
1.2.3.6.7.8-HxCDD	*	0,1000	0,00000	0,00006	94
1.2.3.7.8.9-HxCDD	0,00054	0,1000	0,00005	0,0001	**
1.2.3.4.6.7.8-HpCDD	0,00200	0,0100	0,00002	0,00006	79
OCDD	0,01340	0,0003	0,00000	0,00071	83
<b>∑ Dioxinas</b>	<b>0,01603</b>	<b>∑ EQTs Dioxinas<sup>NA/NE</sup></b>	<b>0,00009</b>		
2.3.7.8-TCDF	*	0,1000	0,00000	0,00009	64
1.2.3.7.8-PeCDF	*	0,0300	0,00000	0,00006	72
2.3.4.7.8-PeCDF	*	0,3000	0,00000	0,00011	64
1.2.3.4.7.8-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00009	85
1.2.3.6.7.8-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00011	78
1.2.3.7.8.9-HxCDF	0,00004	0,1000	0,00000	0,00003	75
2.3.4.6.7.8-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00004	94
1.2.3.4.6.7.8-HpCDF	0,00016	0,0100	0,00000	0,00003	79
1.2.3.4.7.8.9-HpCDF	*	0,0100	0,00000	0,00003	88
OCDF	*	0,0003	0,00000	0,00024	**
<b>∑ Furanos</b>	<b>0,00020</b>	<b>∑ EQTs Furanos<sup>NA/NE</sup></b>	<b>0,00001</b>		
<b>∑ EQTs</b>			<b>0,00009</b>		

**Id. Muestra** : MRCS 0700. Cayumapu (A)  
**N° Registro** : 2400151

<i>Congénera</i>	<i>Concentración (ng g<sup>-1</sup>)</i>	<i>FEQ OMS-2005</i>	<i>EQTs (ng g<sup>-1</sup>)</i>	<i>LD (ng g<sup>-1</sup>)</i>	<i>Recuperación (%)</i>
2.3.7.8-TCDD	*	1,0000	0,00000	0,00004	91
1.2.3.7.8-PeCDD	0,00019	1,0000	0,00019	0,00008	93
1.2.3.4.7.8-HxCDD	0,00046	0,1000	0,00005	0,00006	100
1.2.3.6.7.8-HxCDD	0,00026	0,1000	0,00003	0,00006	112
1.2.3.7.8.9-HxCDD	0,00090	0,1000	0,00009	0,0001	**
1.2.3.4.6.7.8-HpCDD	0,00150	0,0100	0,00001	0,00006	69
OCDD	0,01521	0,0003	0,00000	0,00071	82
<b>∑ Dioxinas</b>	<b>0,01852</b>	<b>∑ EQTs Dioxinas<sup>NA/NE</sup></b>	<b>0,00037</b>		
2.3.7.8-TCDF	*	0,1000	0,00000	0,00009	90
1.2.3.7.8-PeCDF	0,00022	0,0300	0,00001	0,00006	104
2.3.4.7.8-PeCDF	0,00018	0,3000	0,00005	0,00011	86
1.2.3.4.7.8-HxCDF	0,00016	0,1000	0,00002	0,00009	100
1.2.3.6.7.8-HxCDF	0,00023	0,1000	0,00002	0,00011	89
1.2.3.7.8.9-HxCDF	0,00030	0,1000	0,00003	0,00003	85
2.3.4.6.7.8-HxCDF	0,00048	0,1000	0,00005	0,00004	100
1.2.3.4.6.7.8-HpCDF	0,00089	0,0100	0,00001	0,00003	74
1.2.3.4.7.8.9-HpCDF	0,00067	0,0100	0,00001	0,00003	79
OCDF	0,00177	0,0003	0,00000	0,00024	**
<b>∑ Furanos</b>	<b>0,00489</b>	<b>∑ EQTs Furanos<sup>NA/NE</sup></b>	<b>0,00019</b>		
<b>∑ EQTs</b>			<b>0,00057</b>		

**Id. Muestra** : MRC5 0800. cayumapu (B)  
**N° Registro** : 2400152

<b>Congénera</b>	<b>Concentración (ng g<sup>-1</sup>)</b>	<b>FEQ OMS-2005</b>	<b>EQTs (ng g<sup>-1</sup>)</b>	<b>LD (ng g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Recuperación (%)</b>
2.3.7.8-TCDD	*	1,0000	0,00000	0,00004	84
1.2.3.7.8-PeCDD	*	1,0000	0,00000	0,00008	81
1.2.3.4.7.8-HxCDD	*	0,1000	0,00000	0,00006	108
1.2.3.6.7.8-HxCDD	*	0,1000	0,00000	0,00006	114
1.2.3.7.8.9-HxCDD	*	0,1000	0,00000	0,0001	**
1.2.3.4.6.7.8-HpCDD	0,00578	0,0100	0,00006	0,00006	97
OCDD	0,04833	0,0003	0,00001	0,00071	108
<b>∑ Dioxinas</b>	<b>0,05411</b>	<b>∑ EQTs Dioxinas <sup>NA/NE</sup></b>	<b>0,00007</b>		
2.3.7.8-TCDF	*	0,1000	0,00000	0,00009	92
1.2.3.7.8-PeCDF	*	0,0300	0,00000	0,00006	108
2.3.4.7.8-PeCDF	*	0,3000	0,00000	0,00011	88
1.2.3.4.7.8-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00009	105
1.2.3.6.7.8-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00011	89
1.2.3.7.8.9-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00003	78
2.3.4.6.7.8-HxCDF	*	0,1000	0,00000	0,00004	85
1.2.3.4.6.7.8-HpCDF	*	0,0100	0,00000	0,00003	98
1.2.3.4.7.8.9-HpCDF	*	0,0100	0,00000	0,00003	103
OCDF	0,00386	0,0003	0,00000	0,00024	**
<b>∑ Furanos</b>	<b>0,00386</b>	<b>∑ EQTs Furanos <sup>NA/NE</sup></b>	<b>0,00000</b>		
<b>∑ EQTs</b>			<b>0,00007</b>		