



Informe Final

**“ESTUDIO SOBRE ORIGEN DE MORTALIDADES Y
DISMINUCION POBLACIONAL DE AVES ACUATICAS EN EL
SANTUARIO DE LA NATURALEZA CARLOS ANWANDTER,
EN LA PROVINCIA DE VALDIVIA”**

Convenio Complementario Específico N° 1210-1203/2004-12-14

**DIRECCION REGIONAL CONAMA Xª REGION DE LOS LAGOS - UNIVERSIDAD
AUSTRAL DE CHILE**

18 de Abril, 2005

INDICE

	Página
Resumen	1
1. Antecedentes	4
2. Objetivos	4
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. Contenidos del Tercer Informe de Avance	5
4. Concentraciones de metales pesados en rocas, suelos, aguas subterráneas y ambientes estuariales de Valdivia	7
4.1. Antecedentes	7
4.2. Metales pesados en rocas	7
4.3. Metales pesados en suelos	9
4.4. Metales pesados en aguas subterráneas	10
4.5. Ambientes estuariales	19
4.6. Comentario general	29
4.7. Conclusiones	30
5. Estudio de actividades productivas en la cuenca	33
5.1. Fuentes difusas de eventual contaminación	33
5.2. Fuentes directas de eventual contaminación	40
5.2.1. Revisión acerca de las características de los riles de las plantas de tratamiento de aguas servidas de Lanco y San José de la Mariquina	40
5.2.2. Cálculos de cargas diarias de los riles de las	

plantas de tratamiento de aguas servidas de Lanco y San José de la Mariquina	42
5.2.3. Revisión acerca de las características de los riles de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO) en Mariquina	43
5.2.4. Cálculos de cargas diarias de los riles de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO) en Mariquina	47
5.2.5. Actividades de movimiento y extracción de áridos en la cuenca del río cruces	52
5.3. Conclusiones	57
6. Calidad del agua del río Cruces	60
6.1. Antecedentes	60
6.2. Metodologías para la obtención de las muestras	61
6.3. Metodologías para el análisis de las muestras	64
6.4. Resultados	71
6.4.1. Situación actual	71
6.4.2. Comparaciones históricas	108
6.5. Conclusiones	203
7. Coloración de las aguas del río Cruces y humedales adyacentes	206
7.1. Antecedentes	206
7.2. Metodologías para la obtención de las muestras	207
7.3. Metodologías para el análisis de las muestras	211
7.4. Resultados	211
7.4.1. Características físico-químicas	211
7.4.2. Fitoplancton	221
7.5. Extensión a otros humedales	227
7.5.1. Resultados	227
7.6.. Conclusiones	235

8. Bioacumulación de metales pesados en organismos bentónicos	239
8.1. Antecedentes	239
8.2. Metodologías para la obtención de las muestras	239
8.3. Metodologías para el análisis de las muestras	241
8.4. Resultados	242
8.5. Conclusiones	251
9. Bentos de fondos sedimentarios	256
9.1. Antecedentes	256
9.2. Metodologías para la obtención de las muestras	256
9.3. Metodologías para el análisis de las muestras	259
9.4. Resultados	261
9.4.1. Situación actual	261
9.4.2. Comparaciones históricas	277
9.5. Conclusiones	293
10. Comportamiento biogeoquímico del bentos de fondos sedimentarios	296
10.1. Antecedentes	296
10.2. Metodologías para la obtención de las muestras	296
10.3. Metodologías para el análisis de las muestras	298
10.4. Resultados	299
10.5. Conclusiones	303
11. Registro histórico de las concentraciones de metales pesados (geocronología)	305
11.1. Antecedentes	305
11.2. Metodologías para la obtención de las muestras	305
11.3. Metodologías para el análisis de las muestras	306
11.4. Resultados	307
11.4.1. Geocronología	307
11.4.2. Inventario de metales pesados	309

11.5. Conclusiones	315
12. Perfiles de metales pesados en sedimentos del Santuario	318
12.1. Antecedentes	318
12.4. Resultados	319
10.5. Conclusiones	326
13. Bentos de fondos ritrales	328
13.1. Antecedentes	328
13.2. Metodologías para la obtención de las muestras	329
13.3. Metodologías para el análisis de las muestras	332
13.4. Resultados	333
13.4.1. Situación actual	333
13.4. 2. Comparaciones históricas	340
13.5. Conclusiones	341
14. Ictiofauna	343
14.1. Antecedentes	343
14.2. Metodologías para la obtención de las muestras	343
14.3. Metodologías para el análisis de las muestras	345
14.4. Resultados	346
14.4.1. Composición de la ictiofauna	346
14.4.2 Situación actual	346
14.4.2. Comparaciones históricas	356
13.5. Conclusiones	358
15. Avifauna	361
15.1. Antecedentes	361
15.2. Metodologías para el análisis de los datos	362
15.3. Resultados	365
15.3.1. La avifauna	365

15.3.2. Variabilidad espacial del cisne de cuello negro durante el período Noviembre 2004-Marzo 2005	392
15.4 Conclusiones	398
16. Historia natural y ecología poblacional del Cisne de cuello negro <i>Cygnus melancoryphus</i>	401
16.1. Antecedentes	401
16.2. Características generales y estado de conservación	401
16.3. Distribución geográfica y migraciones	403
16.4. Exigencias ambientales del Cisne de cuello negro en humedales del sur de Chile	405
16.5. Estrategias de forrajeo	406
16.6. Reproducción	407
16.7. Interacción con otras especies y el hombre	410
17. Estado actual de la salud ambiental del Santuario y la causa posible de su deterioro	413
18. Hipótesis puestas a prueba para explicar la mortalidad del Cisne de cuello negro y la desaparición del Luchecillo en el Santuario y cauces tributarios del río Cruces	418
19. Conclusiones	427
20. Recomendaciones	435
20.1. En relación a temas conceptuales	435
20.2. En relación al comportamiento natural del Santuario	436
20.3. En relación a actividades realizadas en la cuenca del estuario del río Cruces y cauces tributarios	436
20.4. En relación a las actividades de la Planta Valdivia de CELCO	437

20.5. En relación a geocronología y acumulación de metales pesados en el sedimento	438
20.6. En relación a la ecología del Santuario	438
20.7. En relación a la revisión de informes ambientales	439
21. Participantes en las actividades a las que se hace referencia en este Informe	441
22. Agradecimientos	443

La Universidad Austral de Chile (UACH), es una institución de educación superior conciente de la importancia que tiene la riqueza de la diversidad biológica y cultural, para las generaciones presentes y futuras.

En consecuencia, todos los programas de enseñanza y el desarrollo de la investigación por parte de los académicos que la integran, se sustentan en valores de conservación, protección de la vida y la diversidad en sus formas múltiples y toda su acción institucional es orientada hacia estos dos polos.

En el ámbito educativo, la UACH ha incorporado espacios que permiten el desarrollo conjunto del conocimiento y la experiencia. En este contexto, organiza y articula la información y la comunicación para fortalecer, no solo el conocimiento adquirido en el aula, sino también la comprensión del entorno y la relación del hombre con su medio ambiente.

En el siglo XXI, la labor de extensión de la Universidad es concebida como un vínculo entre la misma y la sociedad. Es por ello, que la extensión ocupa un lugar importante en el quehacer de la Universidad, ya que por medio de ella, es posible generar vínculos entre esos niveles.

La Universidad Austral de Chile, en su rol como Universidad de Investigación y de la importancia de la misma para la comprensión de los procesos naturales, aceptó realizar el “ESTUDIO SOBRE ORIGEN DE MORTALIDADES Y DISMINUCIÓN POBLACIONAL DE AVES ACUÁTICAS EN EL SANTUARIO DE LA NATURALEZA CARLOS ANWANDTER, EN LA PROVINCIA DE VALDIVIA”, solicitado por CONAMA ante la emigración y mortalidad de Cisnes de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) en ese humedal, sitio RAMSAR desde el año 1981.

Este es el Informe Final de este estudio y está dedicado primariamente al análisis de potenciales fuentes contaminantes directas y difusas que pudiesen estar afectando al Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, a la calidad de las aguas del río Cruces, al

estudio del bentos, la icitiofauna, avifauna, tasas de sedimentación y datación de metales pesados y al análisis del estado actual de la salud ambiental del Santuario y la causa posible de su deterioro. Además, se entregan las principales recomendaciones para la preservación del Santuario de la Naturaleza y Humedales adyacentes.

Resumen

En este Informe Final del “ESTUDIO SOBRE ORIGEN DE MORTALIDADES Y DISMINUCION POBLACIONAL DE AVES ACUATICAS EN EL SANTUARIO DE LA NATURALEZA CARLOS ANWANDTER, EN LA PROVINCIA DE VALDIVIA” se analizan resultados en relación a: i) análisis de potenciales fuentes contaminantes directas y difusas que pudiesen estar afectando al Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, ii) estudios de calidad de las aguas del río Cruces, iii) biogeoquímica y geocronología de los sedimentos, iv) estado actual de la salud ambiental del Santuario, v) la causa del deterioro ambiental del mismo. Se proponen también recomendaciones tendientes a la preservación del Santuario y humedales adyacentes.

Los pesticidas usados en la actividad agrícola y forestal, representan una de las principales fuentes difusas de contaminación sobre las aguas del río Cruces. De estos, los herbicidas cuyo ingrediente activo es el glifosato (ingrediente de no fácil lixiviación) son los de mayor uso. En general, existe una cantidad muy baja del total de pesticidas que incluye metales pesados dentro de su ingrediente activo.

Entre las principales fuentes de contaminación directa que influyen sobre las características de las aguas de la cuenca, se encuentran las descargas de riles de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de Lanco y San José de la Mariquina y de la Planta Valdivia de CELCO en Mariquina. En base a los datos analizados, se concluye que las descargas de riles de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas no sobrepasaron los límites establecidos en el DS90/00 Minseges. Por el contrario, las descargas de CELCO han excedido durante la etapa de operación los límites señalados en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región en parámetros como por ejemplo pH, DBO₅, DQO, Nitrógeno y Fósforo total, entre otros. En general, el aporte de los riles de Las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas es menor en comparación con los de CELCO.

Los análisis de calidad del agua del río Cruces, muestran que durante Enero del 2005, ocurrieron diferencias significativas entre estaciones de muestreo ubicadas antes del punto de vertidos de los riles de CELCO y estaciones aguas abajo del mismo. Variables como Conductividad, concentraciones de metales pesados (Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre), DBO_5 , DQO y Sólidos Disueltos inorgánicos, presentaron en general concentraciones mayores, aguas abajo del punto de vertido de esos riles. Los análisis de las características fisicoquímicas durante el periodo Abril del 2004 a Enero del 2005, evidenciaron que existen diferencias importantes (aportes netos) de carga neta diaria entre las estaciones aguas arriba y aguas abajo del efluente de CELCO. Estos incrementos de aporte fueron evidentes en variables tales como DBO_5 , DQO, Nitrógeno total, Sólidos Suspendidos inorgánicos, Sólidos Disueltos, Hierro, Zinc, Sulfato, Clorato, Cloruro, Sodio y AOX. Las comparaciones entre las características fisicoquímicas actuales e históricas de la columna de agua, evidencian diferencias significativas en la mayoría de las variables analizadas.

Los análisis de perfiles sedimentológicos obtenidos en diferentes áreas de depositación del Santuario, muestran mayores concentraciones de metales pesados en el estrato superior del sedimento. En base a cálculos de tasas de sedimentación, puede concluirse que esas altas concentraciones, son el resultado de un proceso reciente que introdujo metales pesados desde la columna de agua al sedimento y cuya ventana temporal se aproxima al período Marzo-Abril del 2004.

El análisis de los datos de los monitoreos ambientales de CELCO y de los estudios realizados por la UACH en las mismas estaciones de muestreo del estuario del río Cruces, indica que las concentraciones de químicos vertidos en los Riles de CELCO, bastan para explicar la floculación y depositación de metales pesados, procesos que están registrados en los sedimentos del Santuario, con una datación que corresponde aproximadamente al otoño del 2004. Por lo tanto y basados en toda la data analizada, se concluye que las actividades de la Planta Valdivia de CELCO han incidido de forma significativa en los cambios ambientales que han ocurrido en el humedal del río Cruces durante el último año.

Persiste a la fecha en el Santuario y humedales adyacentes, una alta diversidad de plantas y animales. Básicamente, tres especies de plantas de un total aproximado de 80 especies de la flora hidrófila del humedal, se han visto afectadas por mortalidad. Para el caso de la avifauna, se tiene que tres de las aproximadamente 30 especies conocidas para el humedal se han visto afectadas, ya sea por mortalidad o emigración (el Cisne de cuello negro, la Tagua y la Taguita). Invertebrados bentónicos de fondos sedimentarios y ritrales, además de la ictiofauna, presentan valores de riqueza de especies y abundancias poblacionales que muestran que no han sido afectados.

Exceptuando el caso de la avifauna, para la cual existe una rica base de datos, las conclusiones anteriores referidas a la matriz biológica del Santuario, están primariamente basadas en análisis puntuales realizados durante este estudio. Por lo tanto, el diagnóstico aquí presentado, solo se refiere a la situación actual y no puede utilizarse para argumentar que cambios futuros no puedan ocurrir a más largo plazo, como producto de los cambios, por ejemplo, en la calidad del agua del río Cruces que han ocurrido en el último tiempo.

“ESTUDIO SOBRE ORIGEN DE MORTALIDADES Y DISMINUCION POBLACIONAL DE AVES ACUATICAS EN EL SANTUARIO DE LA NATURALEZA CARLOS ANWANDTER, EN LA PROVINCIA DE VALDIVIA”

1. Antecedentes

Debido a la importancia que reviste conservar el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, y ante la reciente migración y mortalidad de la avifauna de éste, se ha visto la necesidad de contar con un estudio que permita estimar el grado de conservación en el que se encuentra y estimar si el origen de este fenómeno se debe a causas naturales (cíclicas, migratorias, ecológicas) o de origen antrópico (contaminación, perturbación de hábitat, otras). Con este objetivo, la Comisión Nacional del Medio Ambiente, impulsó la realización de un estudio que permita caracterizar la actual dinámica que tiene este importante ecosistema, los efectos que la acción antrópica puedan tener sobre el, y definir las condiciones y medidas ambientales específicas que permitan su recuperación, conservación y protección, planteado a través de un Plan Ambiental.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General:

Determinar los factores de peligro que condujeron a la muerte de aves, entre ellos el Cisne de cuello negro y determinar el estado de salud del ecosistema del Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, X Región, Valdivia.

2.2. Objetivos Específicos:

- i) Analizar las potenciales fuentes contaminantes directas y difusas que pudiesen estar afectando al Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter (Santuario de aquí en adelante).
- ii) Realizar análisis anatómicos, parasitológicos, microbiológicos, histopatológicos y toxicológicos en el Cisne de cuello negro para evaluar si la

mortalidad de esta especie se debe a aspectos de índole sanitarios y/o toxicológicos.

- iii) Evaluar si la mortalidad de cisnes de cuello negro se debe a contaminación de su fuente principal de alimentación, el Luchecillo (*Egeria densa*).
- iv) Determinar el estado ambiental del Santuario, mediante estudios de calidad de agua y sedimentos.
- v) Realizar estudios ecológico-poblacionales del Cisne de cuello negro y aves acuáticas, comparándolo con estudios bases ya realizados.

3. Contenidos del Informe Final

En este Tercer Informe de Avance del Estudio se analizan los siguientes temas:

- i) Concentración de metales pesados en rocas, suelos, aguas subterráneas y ambientes estuariales de Valdivia
- ii) Estudio de actividades productivas en la cuenca
- iii) Calidad de las aguas del río Cruces
- i) Coloración de las aguas del río Cruces
- ii) Bioacumulación de metales traza
- iii) Bentos de fondos sedimentarios
- iv) Comportamiento biogeoquímico del bentos de fondos sedimentarios

- v) Tasas de sedimentación y geocronología
- vi) Perfiles verticales de metales pesados en el sedimento
- vii) Bentos de fondos ritrales
- viii) Ictiofauna
- ix) Avifauna
- x) Estado actual de la salud ambiental del Santuario y la causa posible causade su deterioro
- xi) Recomendaciones para la conservación del Santuario y Humedales adyacentes

4. Concentración de metales pesados en rocas, suelos, aguas subterráneas y ambientes estuariales de Valdivia

4.1. Antecedentes

Los metales pesados se presentan naturalmente en rocas, suelos, sedimentos y aguas superficiales, pero su contenido se ve notablemente incrementado por la industrialización (Otero *et al.*, 2000). Resulta sin embargo difícil, determinar si las variaciones que se observan son parte de un ciclo natural o resultado de la influencia humana (Krumgalz, 1993; Smol & Glew, 1992). Los metales pesados en el agua subterránea tienen como origen metales provenientes de las rocas y sedimentos del entorno, las aguas superficiales y la contaminación de origen urbano o industrial. En los estuarios, los metales pesados pueden provenir de las rocas y suelos de la cuenca, de las paredes de los canales del mismo estuario y de la actividad antrópica.

A continuación se realiza un análisis de la información recopilada acerca de la concentración de estos metales en rocas, suelos, aguas subterráneas y ambientes estuariales de Valdivia.

4.2. Metales pesados en rocas

La provincia de Valdivia se emplaza dentro del dominio metamórfico Paleozoico-Triásico y su entorno geológico está constituido casi exclusivamente por rocas de este basamento, además de sedimentos cuaternarios de origen glacial, palustre y volcánico. Las rocas metamórficas corresponden mayoritariamente a esquistos micáceos, metareniscas, esquistos verdes con cantidades importantes de clorita (arcilla rica en Niquel) y rocas ultrabásicas (serpentinita) (Zamarsky *et al.*, 1973; Cruzat, 1976; SERNAGEOMIN, 1998).

Dentro de la Formación Piedra-Laja (Complejo Metamórfico Bahía Mansa) de la Cordillera de la Costa en los alrededores de Valdivia, se extienden considerables masas

de rocas serpentinizadas o esquistos anfíbolíticos, que se encuentran en la cercanía del Morro Bonifacio cerca de Curiñanco, entre Futa y Catamutún a orillas del camino longitudinal (Illies, 1970) y en Camán (SERNAGEOMIN, 1998). Son notables sus contenidos de Niquel (0,24%) y Cromo (0,16 %) (Crignola *et al.*, 1997). Según Zamarsky *et al.* (1973), las serpentinitas en la provincia de Valdivia enriquecen naturalmente los cauces fluviales con Niquel. Este autor determinó contenidos de Cobre (75 µg/g), Plomo (30 - 41 µg/g) y Zinc (65 - 78 µg/g) en esquistos.

Al investigar la eventual presencia de yacimientos metalíferos de interés económico, Cruzat (1976) encontró en las serpentinitas y los esquistos de la Cordillera de la Costa, entre 38° y 41° S, los siguientes contenidos promedio para los metales que se indican: Cromo=48 µg/g, Cobre=28 µg/g, Niquel=31 µg/g y Zinc=62 µg/g. A su vez, Troncoso (2000) determinó en esquistos y rocas volcánicas y sedimentarias de la Cordillera de la Costa, entre 41° y 42°S, los siguientes contenidos de metales: i) en esquistos verdes: Cromo=194 µg/g, Cobalto=34 µg/g, Niquel=46 µg/g, Cobre=60 µg/g, Zinc=96 µg/g), ii) en esquistos grises: Cromo=169 µg/g, Cobalto=23 µg/g, Niquel=32 µg/g, Cobre=40 µg/g), Zinc=99 µg/g, iii) en rocas volcánicas de origen continental: Cromo=166 µg/g, Cobalto=26 µg/g, Niquel=34 µg/g, Cobre=37 µg/g, Zinc=106 µg/g), y iv) en rocas volcánicas y sedimentarias continentales con intercalaciones marinas: Cromo=36 µg/g, Cobalto 25 µg/g, Cobre=95 µg/g, Zinc=117 µg/g. Este autor concluye que los esquistos verdes producen sedimentos con mayores contenidos de Cromo, Cobalto y Niquel.

En esquistos verdes, Vivallo *et al.* (1988) encontraron los siguientes rangos: Cromo=283-590 µg/g, Cobre=45-85 µg/g y Niquel=179-316 µg/g. En sedimentos fluviales de la provincia de Valdivia, Gryns (1961) determinó la siguiente variabilidad para Cobre, Plomo y Zinc: 20-30 µg/g, 0-30 µg/g y ≤ 30 µg/g, respectivamente. En el área del río Futa ubicada en el extremo suroccidental del cuadrángulo Valdivia, se identificaron anomalías geoquímicas de Arsénico (35-82 µg/g) y Cobre (9-71 µg/g), acompañadas por bajos contenidos de Cadmio (0-1 µg/g), Cromo (24-131 µg/g), Niquel (8-58 µg/g), Plomo (11-22 µg/g) y Zinc (29-95 µg/g) (SERNAGEOMIN, 1998). Díaz *et al.* (1988)

describen en esquistos paleozoicos provenientes de Bahía Mansa (Osorno) los siguientes contenidos de metales: i) en esquistos verdes: Cromo=125-259 $\mu\text{g/g}$, Cobre=31-69 $\mu\text{g/g}$, Niquel=55-137 $\mu\text{g/g}$ y Zinc=43-139 $\mu\text{g/g}$; ii) en esquistos grises: Plomo=5-17 $\mu\text{g/g}$.

4.3. Metales pesados en suelos

Los suelos más importantes, presentes en la cuenca de Valdivia corresponden a los Trumaos (clasificados en la categoría internacional “Typic Dystrandeps”) (86% de la superficie total de suelos, IREN-UACH, 1978) y Rojos Arcillosos (clasificados como “Haplumbrepts”, IREN–UACH, 1978). Todos ellos derivan de ceniza volcánica transportado por el agua o el viento. Los suelos Trumaos derivan de cenizas volcánicas de tipo andesítico-basáltico, a la vez que los suelos Rojos Arcillosos provienen de materiales del complejo metamórfico de la costa, o de cenizas volcánicas pleistocénicas depositadas sobre materiales metamórficos. Básicamente, se diferencian de los anteriores en su antigüedad, pues se les considera de edad pre-Llanquihue (IREN-UACH, 1978). Menos frecuentemente ocurre un suelo desarrollado sobre los cuerpos ultramáficos (“Ultisol Palehumult”).

Los suelos Trumaos poseen una gran capacidad de infiltración (536 mm después de 10 minutos), alta capacidad de intercambio catiónico e iónico, altos contenidos de Hierro y Aluminio (los que aumentan considerablemente en profundidad) y presentan altos contenidos de la arcilla amorfa Alofán (geles de aluminio silicatos). Por su carácter amorfo, el Alofán es un compuesto altamente poroso que se distingue por poseer intraagregados de Hierro y Manganeso (en algunos casos en gran cantidad). El pH superficial de estos suelos varía en torno a 5.5. Un ejemplo de este tipo de suelos lo constituye la Serie San José (IREN-UACH, 1978), ubicados en las comunas de Mariquina y Lanco. El pH superficial en proporción suelo:agua de 1:2.5 es de 5.8 y los contenidos de Hierro y Aluminio extractable son de entre 49.0-87.4 y 590-726 $\mu\text{g/g}$, respectivamente. En estas comunas existen otras series, como por ejemplo Llastuco, donde el Aluminio extractable llega a valores de 1588 $\mu\text{g/g}$.

Existen muy pocos datos acerca de los contenidos de metales pesados en suelos, ni de su posible contribución a los sedimentos. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos de un estudio realizado en conjunto por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y el Instituto de Geociencias de la UACH (Pino & Fuentes, 2001). Estos datos muestran que los metales pesados son más abundantes en la fracción fina (fango) de los suelos, y los con mayor concentración corresponden a Cobre, Zinc y Vanadio.

Tabla 1. Concentración de metales pesados ($\mu\text{g/g}$) en dos muestras de suelos Trumaos y Rojos Arcillosos, separados en las fracciones arena ($> 63\mu\text{m}$) y fango ($< 63\mu\text{m}$).

	Fracción arena		Fracción fango	
	Trumaos	Rojos Arcillosos	Trumaos	Rojos Arcillosos
Cobre	41.17	31.50	78.83	75.17
Plomo	8.58	8.33	17.67	24.50
Níquel	10.42	26.17	18.00	31.17
Cobalto	10.08	11.50	12.83	14.50
Zinc	43.83	54.33	64.00	89.83
Cromo	32.00	56.00	57.83	88.00
Vanadio	160.25	163.17	275.67	295.83
Aluminio	455.00	329.00	1073.00	1000.5
Cadmio	0.00	0.00	0.10	0.00
Litio	9.83	15.33	14.83	23.67
Arsénico	24.67	13.67	14.17	13.83
Mercurio	47.32	20.00	108.67	58.00

4.4. Metales pesados en aguas subterráneas

Para este análisis se consideran tres bases de datos relacionadas a contenidos de metales pesados en aguas subterráneas: el primero corresponde al Estudio de Línea Base presentado por Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO de ahora en adelante) (Tabla 2); el segundo recopilado por el Servicio de Salud Valdivia para Hierro y Manganeso, en muestras recolectadas entre los años 2003 y 2004 (Tabla 3), y el tercero preparado por Arenas *et al.* (2004) y que incluye muestras recolectadas antes del 2004 (Tabla 4). La tercera base de datos está georeferenciada en UTM. Para la

segunda y tercera base de datos se transformaron arbitrariamente los valores <0.05 y <0.005 en 0.01 y 0.001 para poder realizar análisis estadísticos.

Las muestras de agua subterránea analizadas en la Línea de Base para la planta Valdivia de CELCO son insuficientes en número y resultados, con la mayor parte de ellas con valores < 0.01 mg/L. Es decir, no hay posibilidad de realizar mayor número de análisis.

Tabla 2. Concentración de Hierro y Manganeso (mg/L) en las aguas subterráneas analizadas en el Estudio de Línea Base presentado por CELCO en 1995.

Muestra	Hierro (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Pozo 1	1.79	<1.0
Pozo 2	<1.0	<1.0
Pozo 3	<1.0	<1.0
Pozo 4	<1.0	<1.0
Pozo 5	<1.0	<1.0

Durante los años 2003 y 2004, el Servicio de Salud Valdivia, efectuó análisis de Hierro y Manganeso en pozos de agua subterránea de la cuenca (Tabla 3). Las Figuras 1 y 2 dan cuenta de la distribución de frecuencias para ambos metales pesados. Se observa que para el Hierro, las concentraciones más frecuentes ocurren en el rango de 0 a 1.8 mg/L, y que la distribución no es normal al nivel de confianza de 99% ($P=0.00003259$). Para el Manganeso, la mayor parte de los valores fluctúan entre 0 y 0.2 mg/L, y tampoco la distribución es de tipo normal ($P = 0.00000242$).

Tabla 3. Ubicación, comuna, fecha de muestreo y concentración de Hierro (Fe) y Manganeso (Mn) (mg/L) en las 42 muestras de aguas subterráneas analizadas por el Servicio de Salud Valdivia. s/i= sin información.

Dirección	Comuna	Fecha de muestreo	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
Ruta 5 Pon-Pon S/N	Mariquina	14 Enero 03	0.01	0.01
Sector Asquee	Mariquina	15 Julio 03	0.01	0.01
Sector Sta. Rosa Lote 8	Mariquina	12 Agosto 03	0.01	0.01
Fundo Tres Ciruelos	Mariquina	22 Enero 04	0.01	0.01
Sector Puile	Mariquina	17 Febrero 04	0.01	0.01
Gustavo Exxs N° 1502	Mariquina	24 Abril 04	0.01	0.01
Sector Meliquina	Mariquina	8 Junio 04	0.01	0.01
Ciruelos S/N	Mariquina	4 Octubre 04	0.01	0.01
Sector Los Cisnes	Mariquina	15 Octubre 04	0.01	0.01
Fundo el Huape Ruta 5 Sur Ciruelos	Mariquina	14 Septiembre 04	0.08	0.01
KM. 790 Ruta 5 Sur	Mariquina	23 Febrero 04	0.11	0.01
Parcela Rucahue, Sector Chonqui	Mariquina	2 Marzo 04	0.11	0.01
Colonia Paillaco	Mariquina	23 Junio 04	0.11	0.01
Sector Yeco	Mariquina	4 Noviembre 04	0.11	0.01
RMO Cayumapu N° 145				
Villa Cayumapu	Mariquina	19 Abril 04	0.42	s/i
Sector Pon-Pon	Mariquina	16 Noviembre 04	1.07	0.11
Rucaco km 780	Mariquina	6 Julio 04	2.26	0.16
Sector Pelchuquin	Mariquina	3 Septiembre 04	3.15	0.67
Sector La Misión	Mariquina	15 Octubre 04	10.77	0.8
Sector Toro, Ruta T-350	Valdivia	15 Enero 03	0.01	0.01
Toro Bayo Av.3 S/N	Valdivia	29 Enero 03	0.26	0.01
Toro Bayo	Valdivia	31 Octubre 03	0.09	0.01
Sector Toro Bayo	Valdivia	28 Noviembre 03	0.01	0.46
Toro Bayo	Valdivia	1 Diciembre 03	0.01	0.01
Aguas del Obispo	Valdivia	8 Septiembre 04	0.01	0.01
Parcela N° 13 Los Cisnes	Valdivia	29 Septiembre 04	0.01	0.01
Parcela 50 Riberas de Miraflores	Valdivia	25 Octubre 04	0.01	0.01
Parcela 9 Pasaje Dahue Paillao	Valdivia	27 Octubre 04	0.01	0.01
Mehuín N° 74: Condominio Los Notros	Valdivia	2 Febrero 04	0.05	s/i
Cabo Blanco	Valdivia	23 Agosto 04	0.08	0.01
Parcela Santa Rosa Cabo Blanco	Valdivia	6 Octubre 04	0.13	0.01
Parcela 1 Cabo Blanco S/N	Valdivia	15 Octubre 04	0.14	0.01
Parcela 26 el Rebellin	Valdivia	6 Diciembre 04	0.14	0.01
Los Pellines	Valdivia	12 Noviembre 04	0.17	0.01
Cabo Blanco	Valdivia	23 Julio 04	0.19	0.01
Parcela 31-A Paillao	Valdivia	27 Diciembre 04	0.2	0.01
Loteo Los Cisnes: Parcela N°86	Valdivia	3 Agosto 04	0.4	0.2
Sector Quitacalzon	Valdivia	23 Agosto 04	0.42	s/i
Sector Estancilla km. 8	Valdivia	26 Noviembre 04	0.94	0.17
Sector Toro Bayo, Camino Niebla	Valdivia	23 Julio 04	1.36	0.01
Lote B-2 Cabo Blanco	Valdivia	10 Marzo 04	1.53	0.6
AV. Siete S/N Valdivia –Niebla	Valdivia	21Enero 04	1.8	0.01

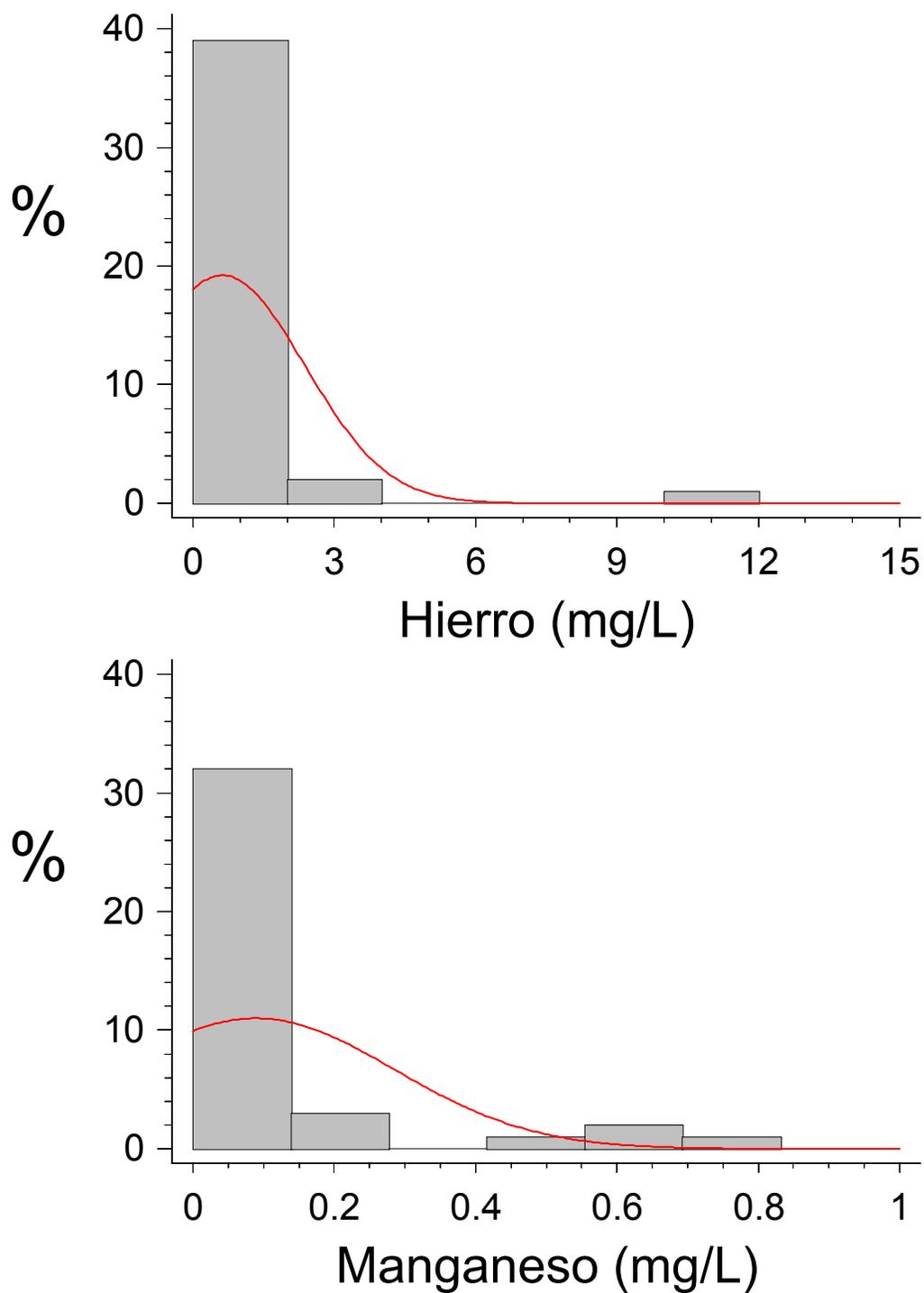


Figura 1. Distribución de frecuencias de las concentraciones de Hierro y Manganeseo en aguas subterráneas de Valdivia (fuente de los datos: Tabla 3).

Los valores de Hierro y Manganeso entregados por el Servicio de Salud Valdivia fueron además analizados mediante un análisis de Kruskal-Wallis, ya que las varianzas de los datos separados por comuna (Valdivia y San José de la Mariquina) y años (2003 y 2004) son heterogéneas. La Tabla 4 muestra los resultados de esos análisis.

Tabla 4. Resultados del análisis de Kruskal-Wallis para las concentraciones de Hierro y Manganeso en aguas subterráneas analizadas por el Servicio de Salud Valdivia:

Hierro	Tamaño muestra	Mediana	Valor P	Valor del Test
Año 2003	8	12.8	0.0210012	5.32646
Año 2004	34	23.6		
Manganeso				
Año 2003	8	18.5	0.554224	0.349803
Año 2004	31	20.6		

Dado que el valor de P en el primer caso es menor que 0.05, existen diferencias significativas al nivel de 95% para el Hierro (2004 > 2003). Para el Manganeso, el valor de P es mayor que 0.05, por lo que las diferencias entre ambos años no son significativas. Al comparar la concentración de Hierro y Manganeso para ambas comunas, no se encuentran diferencias significativas ($P > 0.05$).

Resultados de análisis de regresión, realizados para evaluar eventuales cambios temporales en las concentraciones de Hierro y Manganeso, muestran que no se encontraron coeficientes de regresión significativos ($r=0.17$ y $P=0.28$, $r=0.54$ y $P=0.10$, para Hierro y Manganeso, respectivamente); es decir, no se detectó variabilidad temporal en las concentraciones de estos metales en las aguas subterráneas durante el período Enero 2003-Diciembre 2004.

Los análisis realizados en aguas subterráneas por el SERNAGEOMIN (Arenas *et al.*, 2004) son previos al funcionamiento de la planta Valdivia de CELCO. En la Tabla 5 no se indican a cual de las napas pertenece cada muestra; sin embargo, Rosa Troncoso (com. pers., 2005), hidrogeóloga del SERNAGEOMIN, menciona que las deficientes técnicas de perforación y entubamiento de los pozos hacen que las napas superficiales, que se recargan directamente de las aguas superficiales de los ríos y estuarios, se mezclen con las aguas de las napas mas profundas. Las muestras en los datos presentados por Arenas *et al.* (2004) están identificadas como pertenecientes a vertientes, norias y pozos.

Tabla 5. Ubicación (UTM), tipo (PP = pozo, NO = Noria, VE = vertiente), valores de pH, y concentración de Hierro (Fe) y Manganeso (Mn) (mg/L) en las 77 muestras de aguas subterráneas analizadas por el Servicio Nacional de Geología y Minería (Arenas *et al.*, 2004).

Muestra	Norte	Este	Tipo	pH	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
600	5589685	648159	PP	7.36	0.10	0.001
601	5588812	646048	PP	7.60	0.10	0.001
602	5599995	668093	PP	7.55	0.40	0.077
603	5600452	667848	PP	8.16	0.06	0.032
604	5600762	667544	PP	7.28	0.19	0.322
605	5609499	664868	PP	7.49	0.23	0.331
606	5615800	670374	NO	5.74	0.05	0.087
607	5608791	669236	NO	5.70	0.01	0.005
608	5605512	657766	PP	6.75	0.05	0.001
609	5607295	662476	PP	8.22	0.05	0.025
610	5601884	661791	PP	7.78	0.28	0.114
611	5601582	660997	PP	7.47	0.16	0.290
612	5601600	662541	PP	7.29	0.09	0.019
613	5601677	662601	PP	7.39	0.08	0.013
614	5607023	663826	PP	7.66	0.10	0.006
615	5588466	645511	PP	7.21	0.07	0.001
616	5589712	650924	PP	7.65	0.07	0.001
617	5612405	665280	PP	6.50	0.11	0.001
618	5613331	665907	PP	6.50	0.22	0.696
619	5613125	667909	PP	7.00	0.30	0.273
620	5615811	661664	PP	7.50	0.39	0.320
621	5609838	657431	PP	7.00	0.36	0.312
622	5616363	665744	PP	3.50	0.34	0.218
623	5607772	664677	PP	6.50	0.21	0.316
624	5587622	652774	PP	4.50	0.10	0.009
625	5585282	650268	PP	6.50	0.14	0.165
626	5586319	650159	PP	6.50	0.11	1.130
627	5586154	653534	PP	8.00	0.11	0.013
628	5586904	650057	PP	4.50	0.01	0.013
629	5587574	649695	PP	5.50	0.01	0.381
630	5589276	647530	PP	5.50	0.01	0.001
631	5588556	646592	PP	5.50	0.01	0.007
632	5595696	651926	PP	6.50	0.01	0.018
633	5607993	655804	PP	7.50	0.17	0.418
634	5592923	649663	PP	6.50	0.15	0.129
635	5600300	658844	PP	5.00	0.01	0.151
636	5600171	664547	NO	4.50	0.01	0.041
637	5600020	664234	VE	4.50	0.01	0.052
638	5599890	666890	NO	5.00	0.01	0.096

Continuación Tabla 5

Muestra	Norte	Este	Tipo	pH	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
639	5604570	670926	NO	5.50	0.06	0.001
640	5606540	663081	NO	7.00	0.01	0.170
641	5605490	660139	PP	6.74	0.01	0.061
642	5604985	666609	NO	7.21	0.10	0.274
643	5606796	670513	NO	7.00	0.10	0.001
644	5604904	668578	NO	6.87	0.06	0.001
645	5607778	671173	VE	7.42	0.07	0.009
646	5600455	660409	PP	7.77	0.27	0.026
647	5611574	665816	PP	7.01	0.19	0.437
648	5591632	668351	NO	6.10	0.01	0.001
649	5585667	648938	PP	7.03	0.07	0.187
650	5587057	646351	NO	6.00	0.01	0.236
651	5583669	637598	NO	6.72	0.01	0.005
652	5620843	666001	NO	5.00	0.01	0.035
653	5623325	650806	VE	5.00	0.01	0.001
654	5589444	653185	PP	7.00	0.01	0.338
655	5585300	655455	PP	7.40	0.19	0.628
656	5590185	651128	PP	6.55	0.01	0.001
657	5588800	647795	PP	7.55	0.01	0.001
658	5587509	639275	VE	7.20	0.01	0.016
659	5588613	647711	PP	7.40	0.09	0.005
660	5622883	669774	NO	6.60	0.01	0.080
661	5621731	665901	NO	6.50	0.01	0.007
662	5616424	659850	NO	5.83	0.01	0.039
663	5610810	652654	VE	7.77	0.01	0.008
664	5590895	657986	VE	5.00	0.06	0.005
665	5588730	654090	PP	6.20	0.08	0.388
666	5590706	655302	VE	6.63	0.06	0.064
667	5590340	659198	VE	7.69	6.00	0.016
668	5580422	632914	VE	4.50	0.07	0.075
669	5577503	623232	VE	5.00	0.06	0.019
670	5576246	620641	VE	6.82	0.07	0.001
671	5598666	642567	VE	5.00	0.07	0.014
672	5598702	641681	VE	4.50	0.07	0.038
673	5604469	644269	VE	4.50	0.05	0.010
674	5575451	664822	VE	4.50	0.01	0.006
675	5574863	664340	VE	6.82	0.06	0.067
676	5582988	662325	VE	5.50	0.05	0.015

La distribución de frecuencias indica que predominan los valores cercanos a cero (hasta 1 mg/L de Hierro y hasta 0.18 mg/L de Manganeso). En ambos casos, la

distribución se aparta de la normalidad ($P=0.0$) y también para ambos metales existe un pequeño grupo de muestras con valores de hasta 1 orden de magnitud mayor (Fig. 2).

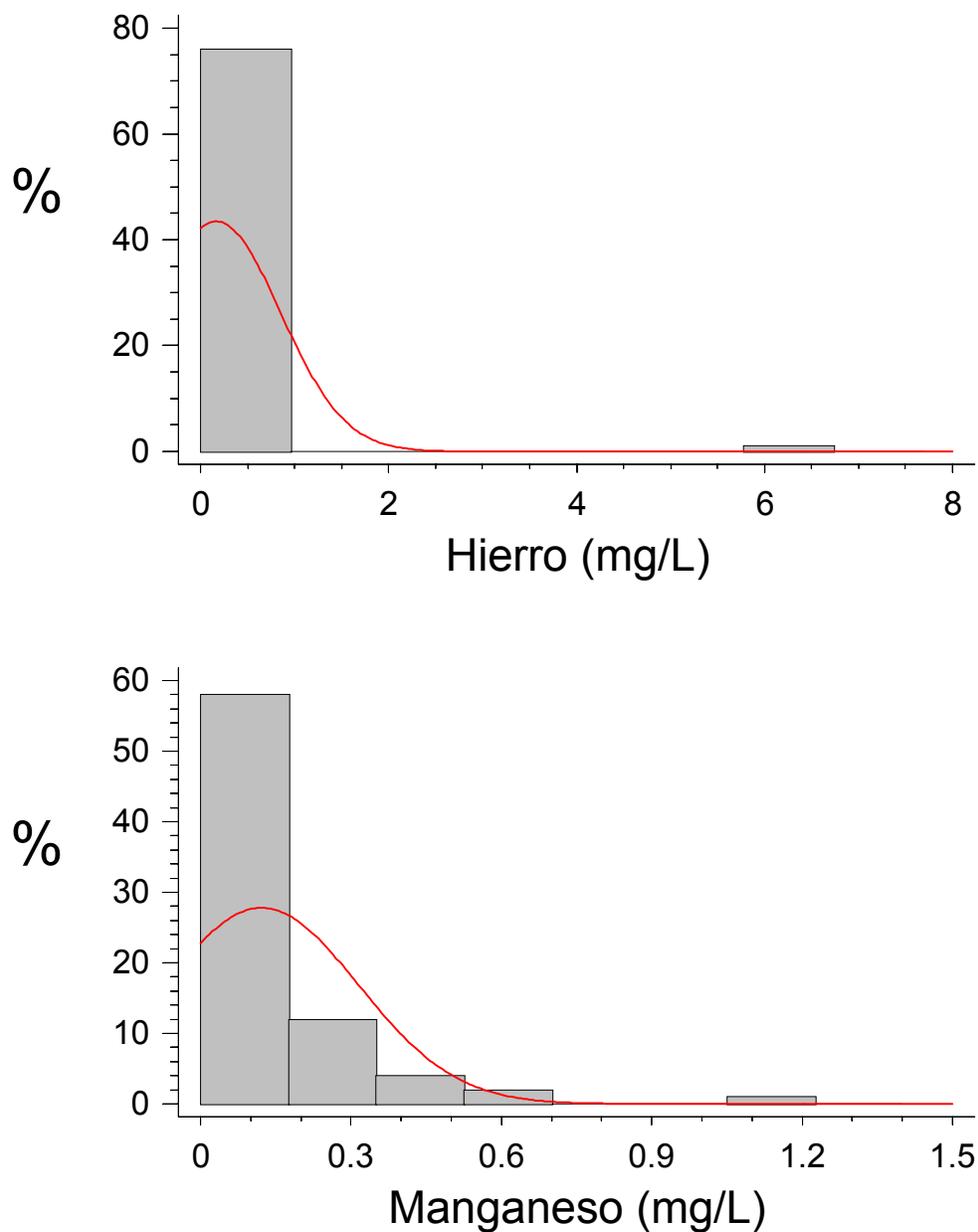


Figura 2. Distribución de frecuencias de las concentraciones de Hierro y Manganeseo en aguas subterráneas de Valdivia (fuente de los datos: Tabla 5).

Los resultados de los análisis de varianza de una vía (Tabla 6), indican que los valores de pH son significativamente más altos en los pozos ($P < 0.05$), no hay diferencias significativas en las concentraciones de Hierro ($P > 0.05$), a la vez que las concentraciones de Manganese solo difirieron significativamente ($P < 0.05$) al comparar los valores de pozos y vertientes.

Tabla 6. Valores promedio de pH y concentraciones de Hierro (Fe) y Manganese (Mn) (mg/L) en las 77 muestras de aguas subterráneas analizadas por el Servicio Nacional de Geología y Minería (Arenas *et al.*, 2004). Los valores corresponden a promedios con desviación estándar entre paréntesis. Se entregan además los valores de F y P resultantes de los análisis de varianza de una vía y los del test *a posteriori* "Tuckey HSD". P=pozo, N=noria, V=vertiente.

	Pozos	Norias	Vertientes	F	P	Tuckey HSD
N	44	16	17			
PH	6.82 (1.02)	6.08 (0.79)	5.79 (1.23)	7.13	0.015	P>N = V
Fe	0.13 (0.11)	0.03 (0.03)	0.40 (1.40)	1.37	0.231	P = N = V
Mn	0.18 (0.23)	0.07 (0.08)	0.02 (0.02)	5.23	0.075	P = N, N = V, P > V

4.5. Ambientes estuariales

Un estuario es un cuerpo de aguas semicerrado, costero, con conexión libre con el océano, donde se produce dilución considerable y medible de las aguas saladas en las aguas continentales. Debe siempre estar afectado por mareas, siendo su límite superior el lugar aguas arriba hasta donde se puede medir efecto de la onda mareal. El Complejo Estuarial Valdivia esta conformado por los estuarios mayores de los ríos Valdivia, Tornagaleones y Cruces, los estuarios menores de los ríos Guacamayo, Cantera y Angachilla, y los canales mareales Cantera y Cau-Cau. Los canales mareales son ambientes estuariales que comunican dos estuarios y que no poseen contribución significativa de un afluente de agua dulce (Montgomery & Dietrich, 1988)

Los estuarios de los ríos Cruces y Valdivia tienen su confluencia en el borde Sur de la Isla Teja, y están comunicados por el canal mareal Cau-Cau. Una barra sumergida obtura el canal del estuario Valdivia inmediatamente al norte del borde sur de la Isla Teja, por lo que la mayor parte del agua salobre (hasta 21 PSU, en la parte externa de

la bahía de Corral hasta 33 PSU; Mario Pino, Instituto de Geociencias, datos no publicados) y la energía mareal ingresa por el estuario del río Cruces. Mientras el estuario del río Valdivia (y su continuación agua arriba de la ciudad de Valdivia con el nombre de río Calle-Calle) tiene sus bordes contenidos por un molo artificial en el borde de la ciudad o por terrazas o cerros, el estuario del río Cruces tiene enormes planicies submareales e intermareales producto del hundimiento tectónico asociado al sismo de 1960. Esta gran superficie de aguas someras está frecuentemente perturbada por el oleaje de periodo corto originado especialmente por el viento Sur (verano) durante la bajamar de las mareas de sicigias, oleaje que tiene una gran capacidad de resuspensión de sedimento. Mientras el estuario del río Valdivia tiene un aporte de agua dulce desde el río San Pedro, alimentado por una cadena de lagos Andinos, el estuario del río Cruces se alimenta de agua dulce proveniente de pequeños ríos que nacen de la Cordillera de la Costa y el macizo de Loncoche, de fuerte influencia pluvial.

Todo el sistema estuarial de Valdivia es del tipo mezcla parcial, es decir, existe una gradación paulatina de salinidad de fondo a superficie, y de boca a cabecera (Pino *et al.*, 1994). No existe información de hasta donde ingresa el agua salobre en el estuario del río Cruces en cada condición de marea y estación del año. Tampoco existen estudios detallados de la extensión de la zona mareal del estuario. Datos obtenidos simultáneamente en los estuarios de los ríos Valdivia y Cruces (inmediatamente aguas arriba de la confluencia en la Isla Teja), muestran que la mayor parte del efecto mareal se produce hacia la cuenca del estuario del río Cruces y no hacia el estuario del río Valdivia (Fig. 3 y 4), con valores de flujo máximo en condición de baja descarga fluvial en dirección a la cabecera; 1100 y 600 m³/s, respectivamente.

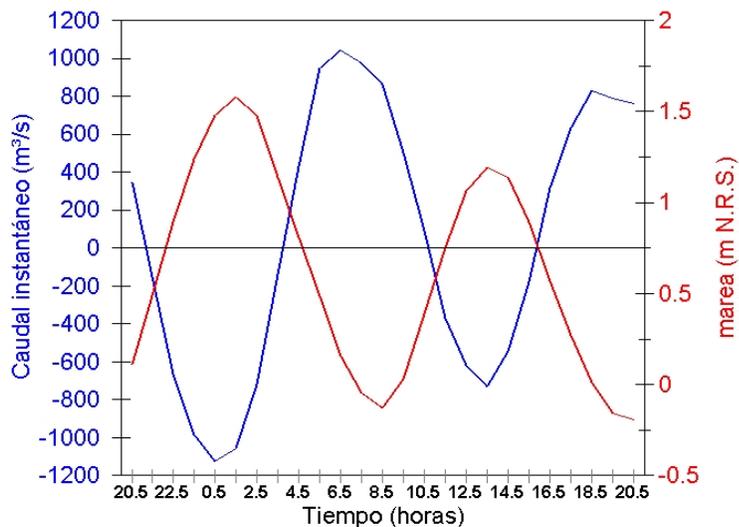


Figura 3. Caudal instantáneo (línea azul) medido en la boca del estuario del río Cruces durante la marea de sicigia del 26-27 de Febrero de 1998. Los valores positivos indican transporte de agua hacia la boca y los negativos hacia la cabecera del estuario. La marea (línea roja) está referida a la altura del mar chileno (metros sobre el nivel de referencia de sondas). Fuente: Mario Pino, Instituto de Geociencias, datos no publicados).

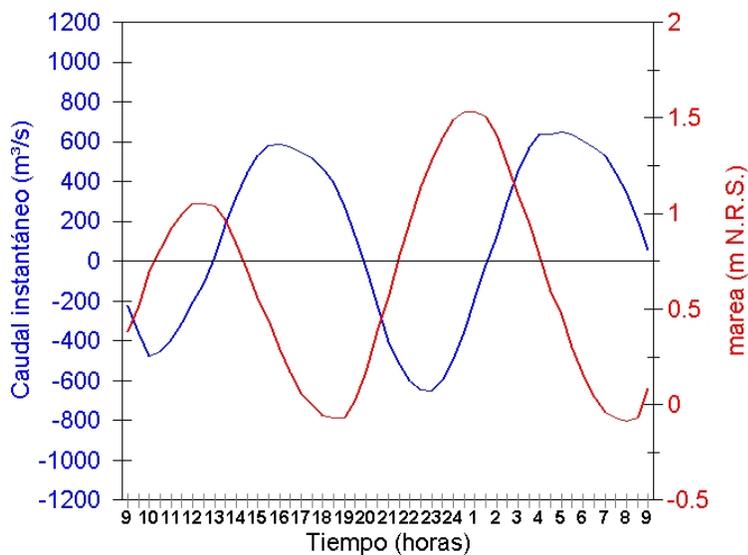
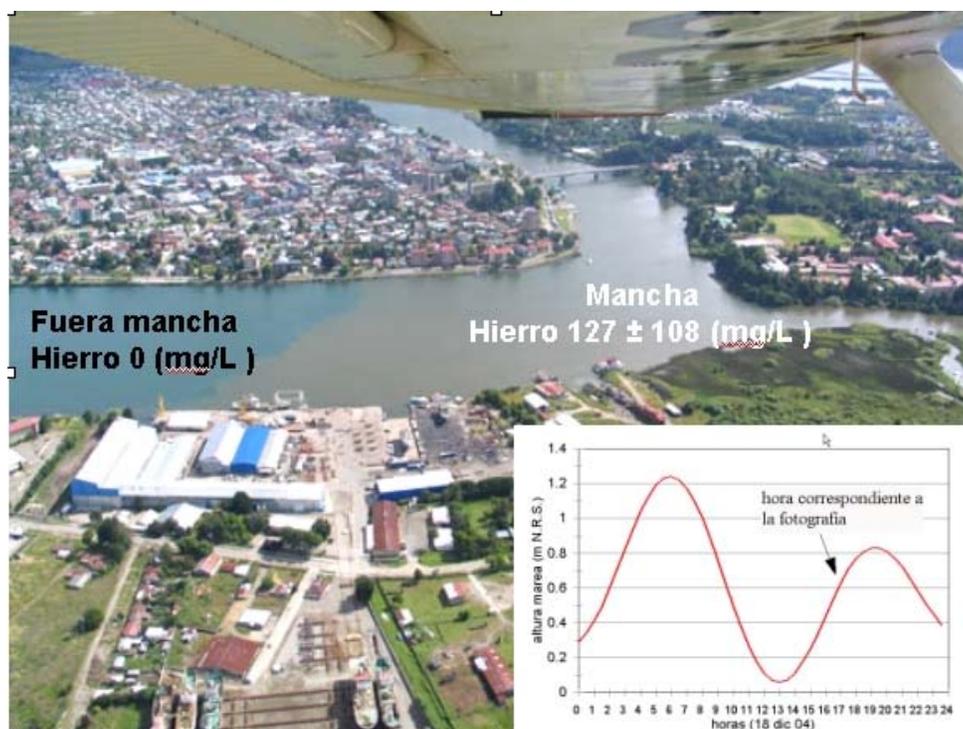


Figura 4. Caudal instantáneo (línea azul) medido en el estuario del río Valdivia antes de su confluencia con el estuario del río Cruces durante la marea de sicigia del 25-26 de Febrero de 1998. Los valores positivos indican transporte de agua hacia la boca y los negativos hacia la cabecera del estuario. La marea (línea roja) está referida a la altura del mar chileno (metros sobre el nivel de referencia de sondas). Fuente: Mario Pino, Instituto de Geociencias, datos no publicados).

Esta diferencia de energía mareal puede ser ejemplificada con lo registrado el 18 de Diciembre del 2004, aprovechando la mancha de color pardo rojizo ocurrente en el canal mareal Cau-Cau y parte del estuario del río Calle-Calle (Fotografía 1). Tal como se observa en la curva de mareas de ese día, la marea estaba subiendo (llenante) al momento de la fotografía; por lo tanto, el flujo en los estuarios de los ríos Valdivia y Cruces es en dirección aguas arriba (cabecera). La mayor energía mareal del estuario del río Cruces empuja el agua por el canal Cau-Cau en dirección al estuario del río Valdivia, obligando a ingresar a esta agua en el estuario del río Calle-Calle hasta donde se encuentra ASENAV (cuadrante inferior izquierdo de la fotografía). Análisis químicos del agua, realizados en muestras obtenidas en el marco de una excursión del Proyecto Milenio FORECOS, indican que el frente entre los dos tipos de aguas (las que no se mezclan por presentar diferentes características fisicoquímicas), difieren en las concentraciones coloidales de Hierro, entre otras características (Fotografía 1).



Fotografía 1. Confluencia del canal mareal Cau-Cau con los estuarios de los ríos Calle-Calle (izquierda) y Valdivia (arriba). Mientras la onda mareal está subiendo hacia la pleamar, el agua de color pardo rojizo (mancha) del estuario Cruces es empujada a través del canal mareal Cau-Cau penetrando en los estuarios de los ríos Calle-Calle y Valdivia. Se muestra el valor promedio ($n=5$) \pm 1 desviación estándar de Hierro en la mancha (127 mg/L); no se detectó hierro en las aguas del Calle-Calle (18/12/04). Fotografía disponible en [www.australvaldivia .cl](http://www.australvaldivia.cl), foto 2220041220062508.

Por otra parte, en el agua de color pardo rojizo del estuario Cruces, el Cromo, Níquel, Cobre y Plomo se encontraron en promedios de 0.08, 0.06, 0.60 y 0.06 mg/L, respectivamente, a la vez que las concentraciones en el río Calle-Calle fueron de 0.05, 0.05, 0 y 0 mg/L, respectivamente.

Los estuarios son cuerpos de agua extremadamente delicados y propensos a la contaminación. Entre 1998 y Marzo del 2005, la ISI WEB OF SCIENCE registra 853 artículos que incluyen las palabras clave “estuary” y “pollution”. Para la búsqueda “estuary” y “contamination” (excluyendo “pollution”) se registran otros 533 artículos en revistas indexadas de calidad internacional.

Los altos y generalizados niveles de contaminación que registran los estuarios en sus aguas y sedimentos están relacionados a su particular dinámica mareal. La onda de marea se mueve en los estuarios, es decir en aguas someras, a una velocidad proporcional a la profundidad del canal. Esto significa que durante la marea alta (o subiendo), las velocidades de la onda de marea aguas arriba son mayores que las velocidades que se alcanzan en la marea baja (o bajando). Dado que en una sección cualquiera de un estuario, todo el flujo que pasa por esa sección debe ser el mismo en las fases de marea subiendo y bajando (porque de otra manera se acumularía agua en la cabecera, cosa imposible debido a la gravedad), la compensación origina que la onda de marea se haga asimétrica. Esto significa que en vez de tener un poco más de 6 horas subiendo y otro tanto bajando, la subida es muy corta (2 o 3 horas), con velocidades altas, y la bajada muy larga (9 o 10 horas), con velocidades bajas.

Las sustancias contaminantes en solución, en estado coloidal o particulado se mueven una mayor distancia aguas arriba, debido a las mayores velocidades, y van quedando acumuladas en las partes altas (hacia la cabecera) del estuario. En palabras muy simples, si se vierten a un río cada día n gramos de un contaminante, estos n gramos serán transportados aguas abajo hasta el mar. Por ejemplo, si el día 1 se vierten los n gramos, debido al efecto de las mareas y a la floculación que ocurre en la

zona de mezcla de aguas salobres, esos gramos permanecerán en el sistema, sumándose a los n gramos vertidos el día 2 y así sucesivamente.

En Valdivia, una alta proporción de la población y de las actividades industriales, se encuentran concentradas en la zona estuarial (Segovia, 1986; Ponce, 1988). Se han realizado diversos estudios que buscan determinar el grado de contaminación en sedimentos provenientes de la zona urbana del estuario del río Valdivia. Los valores medidos por Contreras (1998) en este estuario muestran una amplia variabilidad espacial en la concentración de metales pesados. En la zona de Huellethue (cabecera del estuario del río Calle-Calle), se encontraron los mayores contenidos de Arsénico. En la zona urbana representada por la estación Los Pelúes, el Cromo, Niquel, Plomo y Zinc tuvieron las concentraciones más altas, a la vez que el Cobre, Niquel y Mercurio, fueron los metales de mayor representación en la zona de depositación máxima del estuario (Canal San Francisco).

Fuentes (2000) determinó que la variabilidad espacial y temporal del contenido de Arsénico, Cobre, Cromo, Cadmio, Mercurio, Niquel, Plomo y Zinc, en la matriz de sedimentos de aguas someras, ubicadas en la porción media y superior del estuario del río Valdivia, dependen principalmente del aporte natural de estos al sistema estuarial, más que del ingreso directo desde efluentes de industrias y poblaciones situadas cercanas, exceptuado al Zinc que mostraría variabilidad relacionada a aportes antropogénicos. Cabe mencionar que en ninguno de estos estudios se evaluaron las concentraciones de Hierro y Manganeso.

Para el estuario del río Cruces existe un número menor de estudios y de muestras analizadas. Nelson (1996) determinó contenidos de Cadmio, Plomo, Cobre, Cromo y Zinc en los sedimentos de varias estaciones del complejo estuarial Valdivia, incluyendo una estación en la boca del estuario del río Cruces. Los valores obtenidos en las muestras submareales fueron de 1.5, 8.1, 16.9, 57.1 y 19.0 $\mu\text{g/g}$, respectivamente.

También en sedimentos estuariales de áreas con baja energía cinética, Villalobos (1997) determinó contenidos de Arsénico, Cromo, Cobre, Níquel, Plomo y Zinc, provenientes de 13 sitios ubicados en los estuarios de los ríos Cruces, Cau-Cau, Calle-Calle, Valdivia, Guacamayo, Tornagaleones, Cantera, Angachilla, Naguilán y Futa. Este mismo autor determinó en dos estaciones ubicadas en el canal Cau-Cau y en el estuario Cruces (cerca de Punucapa) (primeros 5 cm del sedimento) concentraciones de Cromo, Cobre, Níquel, Plomo y Zinc iguales a 39, 26, 13, 7, 59 y 89, 55, 66, 8 y 67 $\mu\text{g/g}$, respectivamente. La Tabla 7 muestra el promedio y la desviación estándar de las concentraciones de metales pesados para estas estaciones, considerando la totalidad de los intervalos muestreados (cada 5 cm) entre la superficie y 22 cm (Cau-Cau) y hasta 30 cm en el caso del estuario del río Cruces.

Tabla 7. Promedio y desviación estándar de la concentración de metales pesados ($\mu\text{g/g}$) obtenidos de testigos muestreados cada 5 cm en el canal Cau-Cau y el estuario del río Cruces (Villalobos, 1997).

Metal	Canal mareal Cau-Cau	Estuario del río Cruces
Cromo	35 \pm 6	84 \pm 12
Cobre	31 \pm 4	57 \pm 4
Níquel	31 \pm 11	45 \pm 18
Plomo	7 \pm 1	8 \pm 1
Zinc	66 \pm 10	75 \pm 14

Para la cuenca del río Cruces, Pino & Fuentes (2001) presentan resultados de 11 muestras ubicadas en la cuenca del río (Fig. 5 y Tablas 8 y 9).

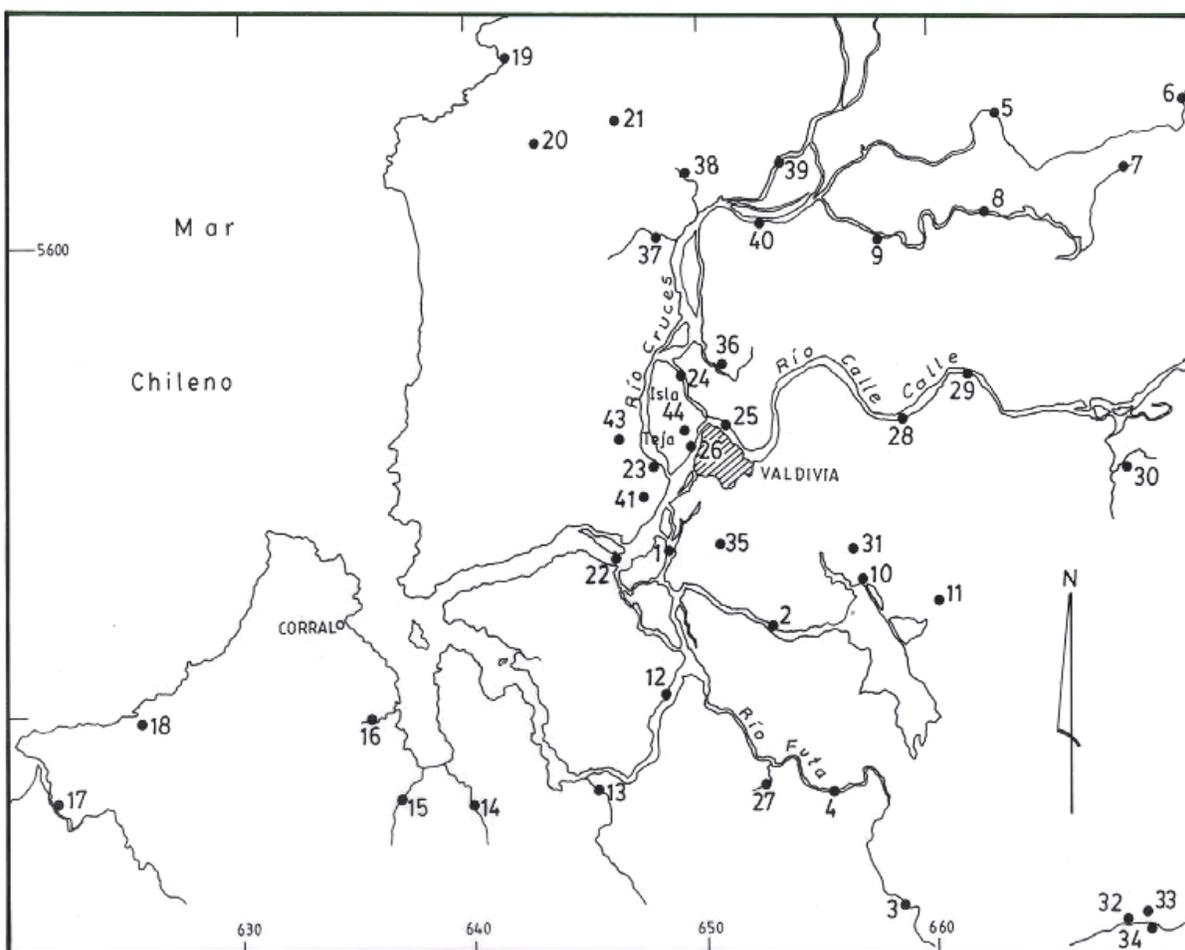


Figura 5. Ubicación de los sitios donde se obtuvieron las muestras analizadas por Pino & Fuentes (2001) (cf. Tabla 6).

Tabla 8. Ubicación de los sitios donde se obtuvieron las muestras analizadas por Pino & Fuentes (2001) (cf. Fig. 5).

Estaciones	Ubicación	UTM Este	UTM Norte
5	Puente Pichoy	663805	5605755
6	Puente Iñaqui	671129	5606027
7	Estero Pitiraco	668466	5603125
8	Puente Cayumapu	662307	5601407
9	Río Cayumapu/ Las Quilas	657786	5600514
23	Río Cruces/ El Bayo	648035	5590128
36	Estero Santa Rosa	651641	5594499
37	Estero San Ramón	646965	5600081
38	Estero San Pedro	650254	5601436
39	Río Cruces/ Puerto Claro	653486	5603439
40	Río Chorocamayo	653355	5600480

Tabla 9. Concentración de metales pesados en 11 muestras de sedimentos submareales pertenecientes a la cuenca del estuario del río Cruces (5 cm superiores del sedimento), separados en las fracciones arena (> 63µm) y fango (< 63µm).

Fracción arena											
Estación	5	6	7	8	9	23	36	37	38	39	40
Cobre	43	18	67	37	26	41	42	82	15	81	150
Plomo	5	4	8	9	7	82	7	143	4	39	329
Níquel	19	20	11	19	9	26	16	23	20	33	33
Cobalto	16	14	20	15	8	15	24	14	14	18	25
Zinc	52	37	106	65	30	73	66	139	37	133	200
Cromo	27	31	30	32	24	66	28	50	25	53	43
Vanadio	135	51	228	117	90	111	172	107	61	107	125
Aluminio	300	200	500	300	300	300	400	300	200	300	400
Cadmio	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	25
Litio	11	10	22	13	8	22	10	17	12	13	14
Arsénico	10	10	11	10	10	16	14	24	13	22	22
Mercurio	80	20	37	61	26	71	20	107	20	147	125
Fracción fango											
Cobre	84	59	109	54	77	54	70	42	54	60	52
Plomo	16	18	8	21	20	12	16	12	18	18	17
Níquel	21	37	14	20	22	26	22	18	42	29	23
Cobalto	21	31	24	19	16	15	27	10	27	18	21
Zinc	96	97	148	107	69	84	112	74	110	76	96
Cromo	39	62	17	41	43	61	49	40	89	63	44
Vanadio	207	134	268	140	242	142	236	107	155	127	144
Aluminio	900	400	1200	500	1000	300	1000	300	400	500	400
Cadmio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Litio	15	24	13	23	23	25	18	20	28	18	15
Arsénico	10	10	11	10	10	16	14	24	17	22	22
Mercurio	124	103	25	118	86	74	53	144	88	161	125

4.6. Comentario general

Los valores de metales pesados detectados en las rocas de la región de responden a sus anomalías geoquímicas, producto de su historia geológica. Por lo tanto, son esperables en estas rocas valores relativamente altos de Cromo, Níquel, Zinc y menores de Cobre y Plomo (Zamarsky *et al.*, 1973; Cruzat, 1976; Díaz *et al.*, 1988; Crignola *et al.*, 1997; SERNAGEOMIN, 1998; Vivallo *et al.*, 1988; Troncoso, 2000) (Tabla 10).

Tabla 10. Valores promedios y desviaciones estándar (en algunos casos) de las concentraciones de los metales pesados Cobre, Cromo, Níquel, Plomo, Zinc, Aluminio, Hierro y Manganeseo en rocas y sedimentos de la cuenca del estuario Cruces, y valores de base de 2 normas internacionales. s/i = sin información, 1 = rocas metamórficas, valores mayores de cada rango (Zamarsky *et al.*, 1973; Cruzat, 1976; Díaz *et al.*, 1988; Crignola *et al.*, 1997; SERNAGEOMIN, 1998; Vivallo *et al.*, 1988; Troncoso, 2000), 2 = rocas volcánicas y sedimentarias (Troncoso, 2000), 3 = suelos Trumao y Rojos Arcillosos, fracciones arena y fango (Pino & Fuentes, 2001), 4 = sedimentos del estuario del río Cruces (Nelson, 1996), 5 = sedimentos del estuario del Cruces y canal Cau-Cau (Villalobos, 1997), 6 = sedimentos del estuario del río Cruces (Pino & Fuentes, 2001), 7 = Norma USEPA 1977 (Non Polluted - USEPA Region 5 Harbour Classification), 8 = Norma Environment Canada 1992 (Sediment Quality Criteria - No Effects Threshold). 7 y 8 obtenidas de la Universidad de Bourdeaux en: <http://bordeaux.uwaterloo.ca/biology447/modules/module1/sedaquat2.html> Table 11. A Summary of the Available Sediment Quality Criteria and Guidelines for the Protection of Aquatic Life.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Cobre	61 ± 18	66 ± 29	57 ± 21	17	45 ± 13	60 ± 30	25	28
Cromo	157 ± 87	101 ± 65	58 ± 20	57	62 ± 25	44 ± 17	25	55
Níquel	72 ± 53	34	21 ± 8	s/i	39 ± 16	23 ± 8	20	35
Plomo	30 ± 8	s/i	15 ± 7	8	8 ± 1	37 ± 71	40	23
Zinc	95 ± 22	112 ± 6	63 ± 17	19	71 ± 13	91 ± 39	90	100
Aluminio	s/i	s/i	2966 ± 4074	s/i	s/i	473 ± 277	s/i	s/i
Hierro	s/i	s/i	s/l	s/i	s/i	s/i	17000	s/i
Manganeseo	s/i	s/i	s/l	s/i	s/i	s/i	300	s/i

Los valores de las concentraciones de metales pesados en los suelos Trumao y Rojo Arcillosos (Tabla 10) de la cuenca del estuario del río Cruces, son indistinguibles de los obtenidos en rocas para el Cobre, y son menores en el resto de los elementos. Destaca la enorme concentración de Aluminio, gran parte de la cual es extraíble (IREN-UACH, 1978).

4.7. Conclusiones

- i) Las características geoquímicas naturales del entorno de la cuenca del estuario del río Cruces y del estuario del río Valdivia, proveen los metales pesados Cobre, Cromo, Níquel, Plomo y Zinc a los suelos y las aguas superficiales y subterráneas de estas cuencas. Las concentraciones de estos metales pesados en los suelos y sedimentos estuariales, son del mismo orden de magnitud pero menores que los encontrados en las rocas.
- ii) El humedal del río Cruces está inserto en una cuenca estuarial, de dinámica hidrográfica completamente diferente a la de un río. Las condiciones estuariales son más marcadas en el estuario Cruces que en el estuario Valdivia, y por ende, es un cuerpo de agua más susceptible de ser alterado.
- iii) Los análisis efectuados por Villalobos (1997) y Pino & Fuentes (2001) originan valores de “background” para los metales pesados Cobre, Níquel, Cromo, Zinc, Plomo y Aluminio en los sedimentos de la cuenca del estuario del río Cruces. Las mayores concentraciones promedio ($\mu\text{g/g}$) pre-2004 detectadas son de 60 ± 30 (Cobre), 62 ± 25 (Cromo), 39 ± 16 (Níquel), 37 ± 71 (Plomo), 91 ± 39 (Zinc) y 473 ± 277 (Aluminio).
- iv) Los análisis de concentración de metales pesados realizados por el SERNAGEOMIN (Arenas et al., 2004) en aguas subterráneas pueden ser considerados como línea base para la cuenca del estuario del río Cruces, con valores medios de Hierro de 0.168 ± 0.68 y de Manganeso de 0.121 ± 0.193 mg/L.

Referencias

- ARENAS M, C JARA, J MILOVIC, Y PÉREZ, R TRONCOSO, J BEHLAU, J HANISCH, & F HELMS (2004) Geología para el ordenamiento territorial: área de Valdivia, Región de los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental N° 8, 78 p. 6 mapas escala 1:100.000, 1 mapa escala 1:25.000. Santiago.
- CONTRERAS R (1998) Determinación y dinámica de metales pesados en sedimentos del sistema estuarial Valdivia. Tesis para optar al Título de Biólogo Marino. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile, 44 p.
- CRIGNOLA P, P DUHART, M MCDONOUGH & J MUÑOZ (1997) Antecedentes geoquímicos acerca del origen de los esquistos máficos y cuerpos ultramáficos en la cordillera de la costa, sector norte de la Xa Región, Chile. In Congreso Geológico Chileno, No. 8, Actas, Voll. II, p. 1254-1258, Antofagasta.
- CRUZAT A (1976) Prospección geoquímica de la Cordillera de la Costa entre las latitudes 38° y 41°30' S. Informe preliminar. Instituto de Investigaciones Geológicas. Departamento de Geología Económica. Sección Geoquímica. 120 p.
- DÍAZ L, W VIVALLO, G ALFARO & M CISTERNAS (1988). Geoquímica de los esquistos paleozoicos de Bahía Mansa, Osorno, Chile. En: Actas Congreso Geológico Chileno. Vol. 2, E 75-E 96.
- FUENTES N (2000). Variación Temporal y espacial de la concentración de metales traza. Tesis para optar al Título de Biólogo Marino. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile, 38 p.
- ILLIES H (1970) Geología de los alrededores de Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. Instituto de Geología y Geografía. 64p.
- IREN-UACH (1978) Estudio de suelos de la provincia de Valdivia. Santiago. 177p.
- KRUMGALZ B (1993) "Fingerprints" approach to the identification of antropogenic trace metals sources in the nearshore and estuarine environments. *Estuaries* 16: 488-495.
- MONTGOMERY DR & WE DIETRICH (1988) Where do channels begin. *Nature* 336 (6196): 232 - 234
- NELSON P (1996) Concentración de metales pesados en el complejo estuarial Valdiviano. Tesis para optar al Título de Biólogo Marino. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. 52p.
- OTERO XL, MA HUERTA-DIAZ. & F MACIAS (2000) Heavy metal geochemistry of saltmarsh soils from the Ria of Ortigueira (mafic and ultramafic areas, NW Iberian Peninsula). *Environmental Pollution* 110: 285-296.
- PINO M, GM PERILLO & P SANTAMARINA (1994) Residual fluxes in a cross section in the Valdivia river estuary, Chile. *Estuary, Coastal and Shelf Sciences* 38: 491-505.
- PINO M & N Fuentes (2001) Determinación de origen, niveles naturales y posible aportes antrópicos en los contenidos de metales traza en los estuarios de Valdivia, X Región. Servicio Nacional de Geología y Minería - Universidad Austral de Chile. 230 p. Inédito disponible en la Oficina Técnica de Puerto Varas de SERNAGEOMIN.
- PONCE P (1988). La contaminación fecal en la zona urbana del río Valdivia. Periodo verano-otoño-invierno. Tesis para optar al Título de Tecnólogo Médico. Facultad de Medicina. Universidad Austral de Chile. 70 p.

SEGOVIA L (1986) La contaminación fecal en la zona urbana del río Valdivia. Periodo invierno-primavera. Tesis para optar al Título de Tecnólogo Médico. Facultad de Medicina. Universidad Austral de Chile. 67 p.

SERNAGEOMIN (1998) Estudio Geológico Económico de la X Región Norte. Servicio Nacional de Geología y Minería. Subdirección Nacional de Geología. Geología Económica. Recursos minerales y energéticos, Vol. 3, 235 p.

SMOL, J & J Glew (1992) Paleolimnology. Science 32: 551-553.

TRONCOSO R (2000) Valores preliminares de línea base de metales pesados, Región de los Lagos, Chile. Actas del 1er Congreso Iberoamericano de Química Ambiental.

VILLALOBOS S (1997) Distribución espacial y temporal de metales traza en los sedimentos del sistema estuarial Valdivia. Tesis para optar al Título de Biólogo Marino. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile, 33 p.

VIVALLO W, G ALFARO & L DÍAZ (1988) Los metabasaltos de la serie occidental de la Cordillera de la Costa entre los 38°-41° Latitud Sur, Chile: Evidencias geoquímicas de cuenca marginal durante el paleozoico. En Actas VII Congreso Latinoamericano de Geología, Belem, Pará. Vol. 1, 260-273.

ZAMARSKY V, H CONN, M TABAK (1973) Estudio geoquímico de los productos del intemperismo de las rocas ultrabásicas (serpentinitas) en la provincia de Valdivia, Chile. Revista Geológica de Chile 1: 81-102.

5. Estudio de actividades productivas en la cuenca del río Cruces

5.1. Fuentes difusas de eventual contaminación

Entre las fuentes difusas de eventual contaminación destacan los pesticidas utilizados en actividades agrícolas.

Las Tablas 11 y 12, muestran los distintos tipos y cantidades de pesticidas utilizados en la zona de Valdivia durante el año 2004 (fuente: SAG Valdivia). Del total de pesticidas utilizados, un 21 % están expresados en kilos (10 342, ver Tabla 11), un 68% en litros (33 493, ver Tabla 12), a la vez que para un 11% de los mismos (5 432, ver Tabla 13), no hay información de la unidad de medición.

Entre los pesticidas utilizados más comunes (independiente de su unidad de medición) se encontraron los herbicidas, fungicidas e insecticidas con un 66, 14 y 11%, respectivamente. Otros pesticidas presentes en el registro, pero en menor magnitud, son los bactericidas, raticidas y los acaricidas (ver Tablas 11 a 12). Gran parte de la información que se entrega a continuación tiene su origen en el “National Institute of Health” (USA) (<http://toxnet.nlm.nih.gov>).

De los herbicidas utilizados, aquellos que presentaron como ingrediente activo el glifosato (N-(fosfometil) glicina) representaron más del 80% del total. Este herbicida es de amplio espectro (i.e. no selectivo) y es utilizado para la eliminación de malezas (pastos anuales y perennes, hierbas de hoja ancha y especies leñosas) en zonas agrícolas y forestales. Una vez aplicado, el glifosato se absorbe fuertemente en el suelo, donde permanece en los primeros centímetros y en general con baja propensión a ser lixiviado.

Estudios realizados en diferentes tipos de suelos han mostrado que la vida media promedio del glifosato una vez aplicado es de aproximadamente 60 días. La movilidad de este tipo de pesticida en el suelo es afectada y limitada por el pH y los niveles de

fosfato, así como por el tipo de suelo. Las zonas donde estos pesticidas son aplicados pueden estar rodeadas de cuerpos de agua, tales como humedales, los cuales pueden recibir aportes de estos compuestos a través de un esparcimiento accidental o lavado superficial del suelo. Debido a su solubilidad, el glifosato tiene una vida media en el agua de unos pocos días. Por ejemplo, en dos ríos de British Columbia (Canadá) se registró que la concentración de este compuesto cayó a niveles no detectables 96 horas después de su aplicación. Similarmente, en un bosque de la costa de Oregon (USA) tratado con glifosato, la concentración del mismo en un arroyo aledaño fue de 28 ppm (inmediatamente después de su aplicación), disminuyendo drásticamente a niveles indetectables a los seis días. Sobre la base de esta solubilidad, es esperable que los organismos acuáticos no bioconcentren este elemento. Por ejemplo, en la costa de Oregon, los niveles de glifosato en 10 salmones Coho juveniles fueron no detectables, aún cuando estos individuos habitaban en un río donde este compuesto fue detectado en el agua y en el sedimento por 3 y 55 días, respectivamente.

El captan representó el ingrediente activo en más de un 50% de los fungicidas utilizados. Estudios de campo realizados en seis sitios diferentes mostraron que el captan registró una movilidad nula o muy débil. Estudios realizados en ambientes acuáticos, mostraron que el captan es rápidamente hidrolizado en condiciones donde el pH fluctúa entre 5 y 9; por lo tanto, su degradación en el medio puede ser muy rápida. Por ejemplo, se ha observado una vida promedio de este elemento de 18.8 hr y 8.3 min con valores de pH de 5 y 7, respectivamente. Un estudio sobre el pez sol mostró un factor de bioconcentración (BCF “BioConcentration Factor” por su nombre en inglés) de 113, valor que sugiere que la bioconcentración por parte de organismos acuáticos es moderada (“National Institute of Health” USA) (<http://toxnet.nlm.nih.gov>).

En el caso de los insecticidas, el ingrediente activo más comúnmente utilizado es el clorpirifos, el cual representa más de un 70% del total de ingredientes activos en este tipo de pesticidas. Este elemento presentó una muy baja movilidad una vez depositado en el sedimento. La diversidad de diversas especies acuáticas frente al clorpirifos es

muy variable, probablemente debido a diferencias en el comportamiento, hábitos alimenticios, etc (<http://www.obraspublicas.gov.ar/hidricos/documentos/calidad/clorpirifos.pdf>).

Generalmente, los crustáceos y las larvas de insectos son los animales más sensibles al clorpirifos, en tanto que los rotíferos y los moluscos son los más tolerantes (Van Wijngaarden et al., 1996).

Aún cuando existen antecedentes (algunos de los cuales fueron expuestos anteriormente) sobre los principales pesticidas utilizados en las distintas actividades agrícolas y forestales de la Provincia de Valdivia, la caracterización y los efectos de los mismos sobre los organismos acuáticos o asociados a cuerpos de agua requiere necesariamente de un estudio particular, profundo y detallado que de cuenta de cómo estos compuestos entran en el ambiente. Un estudio como el anterior debiera incluir entre otros, aspectos tales como:

- i) mecanismo de aplicación de los pesticidas,
- ii) tiempo de residencia de los pesticidas en el sedimento,
- iii) caracterización de los suelos donde estos son aplicados,
- iv) capacidad de lixiviación de los pesticidas,
- v) caracterización de los cuerpos de aguas que eventualmente reciben estos aportes.

Tabla 11. Nombre comercial, volumen (litros) y cantidad (kilos), acción e ingrediente activo de los pesticidas utilizados en la Provincia de Valdivia durante el año 2004 (fuente: SAG Valdivia).

Nombre comercial	Cantidad	Acción	Ingrediente activo
ROUNDUP	19402 (L)	Herbicida	Glifosato
Rango 480 SL	5512 (L)	Herbicida	Glifosato
GLIFOSATO ATANOR	1600 (L)	Herbicida	Glifosato: N-(fosfonometil) glicina
SPORTAK ALPHA	775 (L)	Fungicida	a) Prochloraz b) Carbendazima
ALSYSTIN	725 (L)	Insecticida	Triflumuron
MCPA 750 SL	717 (L)	Herbicida	Sal dimetil amina de MCPA
GARLON 4	609 (L)	Herbicida	Triclopyr
CASCADE 100 DC	583 (L)	Acaricida	Flufenoxuron
TERBUTILAZINA	520 (L)	Herbicida	Terbutilacina
GRAMOXONE (SYNGEN)	450 (L)	Herbicida	Paraquat
SIMAZINA	290 (L)	SD	SD
ZERO	229 (L)	Insecticida	Lambdacialotrina
Gesatop	222 (L)	Herbicida	Simazina
PANZER	200 (L)	Herbicida	Glifosato
GALANT PLUS	192 (L)	Herbicida	Metil 2-((4-(3-cloro-5-(trifluorometil)-2 piridinil)oxi)fenoxi)propanoato)
ATLAS	137 (L)	SD	SD
ESTERON TEN TEN	123 (L)	Herbicida	Ácido 2,4-diclorofeniácetico, ester butoxietílico
KARATE ZEON	122 (L)	Insecticida	Lambdacialotrina
LONTREL 3A	120 (L)	Herbicida	Clopiralid
SILWET	109 (L)	Surfactante	Copolímero de poliéter y silicona
VENCEWEED 100 E. DOW.	107 (L)	Herbicida	2,4-DB
CASCADE	58 (L)	Acaricida	Flufenoxuron
Dach HC	56 (L)	SD	SD
Starane	54 (L)	Herbicida	SD
GLYFOS 480 SL	40 (L)	Herbicida	Glifosato
PRIORI	32 (L)	SD	SD
GAUCHO 600 FS	31 (L)	Insecticida	Imidacloprid
UNIFILM 707	31 (L)	Surfactante, extensor, activador	Alkylaril polioxietilen glicol isopropanol
SPORTAK 40 EC	30 (L)	Fungicida	Prochloraz
CITROLIV MISCIBLE	28 (L)	Insecticida	Aceite mineral
INDUCE PH	27 (L)	Surfactante no iónico	Mezcla de alkyl aryl polyoxyalkane ether, alkyl aryl polyethoxyethanol phosphate y ácidos grasos libres
Dithane M-45 (Mn y Zn)	25 (L)	Fungicida (Mn y Zn)	Mancozeb
FARMON	25 (L)	Herbicida	Paraquat y Diquat
TOUCH-DOWN	25 (L)	Herbicida	Glifosato
BASAGRAN 480	20 (L)	Herbicida	Bentazon
MONITOR 600	20 (L)	Insecticida	Methamidophos.
VITAVAX 200 FLO	20 (L)	Fungicida	Carboxin - tiram
PREVICUR N	19 (L)	Fungicida	Propamocarb-HCl
LINUREX 50 SC	17 (L)	Herbicida	Linurón

Continuación Tabla 11.

Nombre comercial	Cantidad	Acción	Ingrediente activo
MATADOR 375 EC	17 (L)	Fungicida	a) Tebuconazole b) Triadimenol
KAYTAR ACTM	16 (L)	Coadyuvantes	Éter de octil fenol y polietilenglicol y dodecil benceno sulfonato de sodio
RAXIL 060 FC	15 (L)	Herbicida	Tebuconazole
HACHE UNO 2000 175 EC	14 (L)	Herbicida	Fluazifop-p-butil
FASTAC 10 EC	12 (L)	Insecticida	Alfacipermetrina
VAPONA 48 EC	12 (L)	Insecticida	Dimetildiclorovinil - fosfato
PHYTON 27	11 (L)	Bactericida	Sulfato de cobre pentahidratado
BAYTHROID 050 EC	10 (L)	Insecticida	Cyfluthrin
BECTRA	10 (L)	Herbicida	Metribuzina
REGENT	10 (L)	Insecticida	Fipronil
BRAVO 720	9 (L)	Fungicida	Chlorotalonil
BUMPER 25 EC	8 (L)	Fungicida	Propiconazole
MAVRIK	7 (L)	Insecticida	Tau-fluvalinato
TORDON 24 K	7 (L)	Herbicida	Picloram + 2,4 D
ACTELLIC	6 (L)	Insecticida	Pirimifos-metil
BAYTAN 15 FS	4 (L)	Fungicida	Triadimenol
Indar Flo 30 FS	4 (L)	Fungicida	Fenbuconazole
COMET	3 (L)	Fungicida	Pyraclostrobin
Driftgard	3 (L)	Fungicida	SD
IMPACT	3 (L)	SD	SD
TAMARON 600 SL	2 (L)	Insecticida	Metamidofos
TORDON 101	2 (L)	Herbicida	Picloram + 2,4 D
ALTO 100SL	1 (L)	Fungicida	Cyproconazole
Juwel	1 (L)	Fungicida	Kresoxim-methyl + epoxiconazole
PIVOT 100 SL	1 (L)	Herbicida	Imazethapyr (sal de amonio)
PUGIL 50 SC	1 (L)	Fungicida	Clorotalonil
STRIKE 4 EW	1 (L)	Insecticida	Triazamato + alfacipermetrina
LORSBAN 10 D	3830 (kg)	Insecticida	Clorpirifos
CAPTAN	3801 (kg)	Fungicida	Captan
POLYBEN 50% WP	748 (kg)	Fungicida	Benomilo
MANCOZEB 80 WP	659 (kg)	Fungicida (Mn y Zn)	Mancozeb.
Punto 70 DS	510 (kg)	Acaricida	Imidacloprid
LI 700	138 (kg)	SD	SD
METABROMO 980	131 (kg)	Fumigante	Bromuro de metilo
AJAX 50 WP	118 (kg)	Herbicida	Metsulfuron-metil
METALAXIL	108 (kg)	Fungicida	Metalaxil
POMARSOL FORTE 80% WP	56 (kg)	Fungicida	Thiuram (TMTD)
ACROBAT ® MZ	50 (kg)	Fungicida	Dimetomorf + Mancozeb
DIAZOL 40 WP	35 (kg)	Insecticida	Diazinon
DIAZINON 40 WP	27 (kg)	Acaricida	Diazinon

Continuación Tabla 11.

Nombre comercial	Cantidad	Acción	Ingrediente activo
CUPRODUL WG	24 (kg)	Fungicida Cúprico	Oxido Cuproso
ALIADO	22 (kg)	SD	SD
ROVRAL 50 PM	16 (kg)	Fungicida	Iprodione
RACUMIN	15 (kg)	Raticida	Coumatetralyl
BENEX	12 (kg)	Fungicida	Benomilo
VELPAR 75 DF	12 (kg)	Herbicida	Hexazinona
ALIETTE 80 WP	11 (kg)	Fungicida	Fosetil - Al
AFALON 50 WP	5 (kg)	Herbicida	Linuron
ALLY	4 (kg)	SD	SD
SWITCH 62,5 WG	3 (kg)	Fungicida	Fludioxonil
PRESIDE 80 WDG	3 (kg)	Herbicida	Flumetsulam
CERCOBIN M	2 (kg)	Fungicida	tiofanato metil
EUPAREN 50% WP	2 (kg)	Fungicida	Dichlofluanid
AJAX 50 PE	1 (kg)	Herbicida	Metsulfuron-metil

Tabla 12. Nombre comercial, cantidad (sin datos para la unidad), acción e ingrediente activo de los pesticidas utilizados en la Provincia de Valdivia durante el año 2004 (fuente: SAG Valdivia).

Nombre comercial	Cantidad	Tipo	Ingrediente activo
Butisan S	1000	Herbicida	Metazachlor
PHOSTOXIN T-480	960	SD	SD
Indar Flo	458	Fungicida	Fenbuconazole
Arco 2.4 d-480 SL	370	Herbicida	2,4 - D
Stanza 600	311	SD	SD
PHOSTOXIN T-3	264	SD	SD
Trident 48 EC	262	Herbicida	triclopyr bututil
Gesatop	222	Herbicida	Simazina
OXI CUP	168	Plaguicida	Oxido cuprico
Sipcazin	125	Herbicida	Simazina
BREAK	107	Surfactante	SD
CLARTEX + R	102	Molusquicida	Metaldehído
HORIZON 25 WP	102	Fungicida	Tebuconazole
Pantera Plus	100	Herbicida	Quizalofop - p - tefuril
Promesol	98	Acondicionador de suelos	SD
PODA STIK PLUS	95	SD	SD
MASTER	74	Insecticida	Clorpirifos
MASTER 25 % SC	63	Insecticida	Clorpirifos
Centurion 240 EC	60	Herbicida	Clethodim
COMBO	57	SD	SD
Paramak 276 SL	45	Herbicida	Dicloruro de Paraquat
FANTON	41	SD	SD
Packhard	40	Bionutriente	Acidos carboxílicos, Boro elemental, Calcio elemental, Carbohidratos naturales
Zenit 425 EC	30	Fungicida	Propiconazol + Fenpropidin
Dithane M-45	25	Fungicida (Mn y Zn)	Mancozeb
TOUCH-DOWN	25	Herbicida	Glifosato
PODEXAL ULTRA	22	Fungicida	Triforine
Herbadox 330 EC	20	Herbicida	Pendimethalin
LORSBAN 4 E	18	Insecticida	Clorpirifos
ATONIT 5 EC	17	Insecticida	Amdacihalotrina
CYPERKILL	17	Insecticida	Cipermetrina
Dividend 150 FS	17	Fungicida	Difenoconazole
ANAGRAN	13	Desinfectante de Semillas	Mancozeb + Carbendazima
LEXONE ® 75 D F	13	Herbicida	Metribuzina
Methamidophos 60 %	12	Insecticida	Methamidophos.
FURADAN	10	SD	SD
U46 M-FLUID 780	10	Herbicida	MCPA
CAIMAN 70 WG	7	Fungicida	Sal sódica de Dicamba
METASYSTOX R 250 EC	6	Insecticida	Oxidemeton metil

Continuación Tabla 12.

Nombre comercial	Cantidad	Tipo	Ingrediente activo
PHOSTOXIN RT-100	6	Fumigante	Fosfuro de Aluminio
RIDOMIL 5 G	6	Fungicida	Mancozeb, Metalaxil-M
H-AG DIMETOATO	6	SD	SD
ATP UP	5	SD	SD
FORCE 20 CS	5	Insecticida	Teflutrina
ANASECT 2.5	4	Insecticida	Praetrina
SCALA 40 SC	3	Fungicida	Pyrimethanil
BANVEL 4 S	2	Herbicida	SD
SENCOR 480 SC	2	Herbicida	Sencor® 480 SC
ACTELLIC Gen. DE HUMO	1	SD	SD
DECIS 5E C	1	SD	SD
DZN 600 EW	1	Insecticida	Diazinon
PRIMOR	1	SD	SD
Strepto Plus	1	Fungicida	a) Sulfato de Estreptomicina b) Clorhidrato de Oxitetraciclina
FENDONA	1	Insecticida	Alfacipermetrina

5.2. Fuentes directas de eventual contaminación (aguas arriba)

5.2.1. Revisión acerca de las características de los riles de las plantas de tratamiento de aguas servidas de Lanco y San José de la Mariquina

Los antecedentes entregados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) indican la existencia de dos descargas de sistemas de tratamiento de aguas servidas en la cuenca del río Cruces, aguas arriba de la descarga del Efluente de CELCO, correspondientes a las ciudades de Lanco y San José de la Mariquina y atendidas ambas por la empresa sanitaria ESSAL S. A.

Las características de los riles de las plantas de tratamiento de Lanco (8 al 9 de Noviembre del 2004) y de San José de la Mariquina (18 al 19 Noviembre del 2004) se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Características fisicoquímicas de la descarga de los sistemas de tratamiento de aguas servidas de las ciudades de Lanco y San José de la Mariquina al río Cruces, Noviembre 2004.

	ESSAL Lanco	ESSAL San José de la Mariquina	Límite máximo DS 90/00 Minsegpres
Caudal diario (m ³ /d)	3240.42	1355.55	
PH	6.7-7.2	7.1-7.9	6.0-8.5
DBO ₅ Lab Aqua (mg/L)	6	12	35
DBO ₅ Lab Latorre (mg/L)	11.2	19.7	
DQO (mg/L)	14	30	-----
Fósforo total (mg/L)	2.56	3.7	10
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/L)	5.53	41.5	50
Sólidos Suspendidos(mg/L)	19	40	80

El caudal diario de descarga correspondió a 3 240.32 m³/d para Lanco y de 1355.55 m³/d para San José de la Mariquina, lo que equivale aproximadamente a 37.5 y 15.7 L/s, respectivamente. El pH fluctuó entre 6.7 – 7.2 en Lanco y entre 7.1 – 7.9 en San José. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) presentó valores de 6 y 11.2 mg/L en Lanco y de 12 y 19.7 mg/L en San José, de acuerdo a los resultados entregados por el Laboratorio Aqua o el Laboratorio Latorre, respectivamente. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) fue de 14 mg/L para Lanco y de 30 mg/L para San José. La concentración de Fósforo Total registró valores de 2.56 mg/L en Lanco y de 3.7 mg/L en San José. La concentración de Nitrógeno Total Kjeldahl muestra una alta diferencia entre las descargas, con un valor de 5.53 mg/L en Lanco y de 41.5 mg/L en San José. La concentración de Sólidos Suspendidos fue de 19 y 40 mg/L para Lanco y San José, respectivamente (Tabla 13).

Al comparar las concentraciones entre descargas se observa que la planta de tratamiento de San José presenta mayores concentraciones en todos los parámetros, aún cuando todos están bajo el límite máximo permitido según lo establecido en DS 90/00 Minsegpres.

5.2.2. Cálculos de carga diaria de los riles de las plantas de tratamiento de aguas servidas de Lanco y San José de la Mariquina

Las cargas asociadas a las descargas de riles de las plantas de tratamiento de Lanco (8 al 9 de Noviembre del 2004) y de San José de la Mariquina (18 al 19 Noviembre del 2004) se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Cargas diarias de la descarga de los sistemas de tratamiento de aguas servidas de las ciudades de Lanco y San José de la Mariquina al río Cruces., Noviembre 2004.

	ESSAL Lanco	ESSAL San José de la Mariquina	Aporte total medio diario al río Cruces
Caudal diario m ³ /d	3 240.42	1 355.55	4 595.97
PH	6.7-7.2	7.1-7.9	6.7-7.9
DBO ₅ Lab Aqua (kg/d)	19.44	16.27	35.71
DBO ₅ Lab Latorre (kg/d)	36.29	26.70	63.00
DQO	45.37	40.67	86.04
Fósforo total (kg/d)	8.30	5.02	13.32
Nitrógeno total Kjeldahl (kg/d)	17.92	56.26	74.18
Sólidos Suspendidos (kg/d)	61.57	54.22	115.79

La carga diaria de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) presentó valores de 19.44 o 36.29 kg/d en Lanco y 16.27 o 26.70 kg/d en San José, de acuerdo a los resultados entregados por el Laboratorio Aqua o el Laboratorio Latorre, respectivamente, y para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) correspondió a 45.37 kg/d para Lanco y de 40.67 kg/d para San José. La DBO₅ total máxima diaria descargada al río Cruces es aproximadamente del orden de los 63 kg/d y de 86 kg/d de DQO (Tabla 14).

La carga de Fósforo Total registró un valor de 8.30 kg/d en Lanco y de 5.02 kg/d para San José, resultando una descarga al río Cruces alrededor de 13.3 kg/d. Mientras que la carga de Nitrógeno Total Kjeldahl es de 17.92 kg/d para Lanco y de 56.26 kg/d para San José, descargándose diariamente un total estimado de 74 kg/d. La carga de Sólidos Suspendidos es similar, con 61.57 kg/d para Lanco y de 54.22 kg/d para San José, ingresando aproximadamente 116 kg/d de sólidos al río Cruces (Tabla 14).

Contrariamente al resultado del análisis de concentraciones y a excepción del Nitrógeno Total Kjeldahl, las cargas son superiores en Lanco para DBO₅, DQO, Fósforo Total y Sólidos Suspendidos.

5.2.3. Revisión acerca de las características de los riles de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO) en Mariquina

Con el objetivo de analizar las características de la descarga de los riles de CELCO se recopilieron en primera instancia los datos de los Monitoreos Mensuales y Monitoreos Semanales entregados por la empresa en los Informes Trimestrales, denominados específicamente “Calidad del Efluente”. El análisis permitió determinar la existencia de diferencias en algunos parámetros entre los valores informados y los valores establecidos en los Informes de Laboratorio (ver Tablas en Anexo 4). Ante esta situación se procedió a realizar los análisis con los datos de los Informes de Laboratorio. Debido a que no se pudo contar con todos los Informes de Laboratorio de los Muestreos Semanales, se procedió sólo a considerar la información de los Muestreos Mensuales.

En la Tabla 15 y Tabla 16 se presentan las características del Efluente de CELCO desde Abril a Diciembre del 2004 y los valores mínimo, máximo y media registrados, además de los valores establecidos en la RA Exenta N°279/98 Corema X Región.

Tabla 15. Características fisicoquímicas de los riles de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO), durante Abril y Diciembre del 2004. Se especifican los informes de laboratorios que se utilizaron como las fuentes de estos análisis. En rojo se indican aquellos valores sobre el límite permitido por la RA Exenta 279/98 Corema X Región.

	20 Abril	14 May	18 Jun	20-21 Jul	19 Ago	21-22 Sep	19-20 Oct	29 Nov	21-22 Dic
Informe de Lab. N°	1212	1267	1325	1373-2	1443	1493-2	1520-2	1579-2a	1617-2
Caudal día Muestreo (L/s)	584.20	549.42	750.00	663.08	504.60	666.00	718.70	714.20	587.70
Temperatura (°C)	28.60	28.60	29.20	28.50	28.00	28.60	30.20	32.80	29.30
pH (°H)	6.50	6.30	6.30	6.60	6.40	6.70	6.20	6.30	6.70
Conductividad (µS/cm)	3472.00	3290.00	5300.00	2360.00	2610.30	2665.20	2589.00	3376.80	2988.50
DBO ₅ (mg/L)	5.00	16.50	60.00	40.00	15.00	2.80	4.80	2.60	19.00
DQO (mg/L)	120.00	99.84	89.60	89.30	318.00	166.00	<20.00	195.00	161.00
Fósforo total (mg/L)	0.24	0.03	0.20	0.12	0.39	0.02	<0.02	<0.02	0.11
Nitrógeno total (mg/L)	1.50	5.04	3.96	0.40	1.72	0.44	0.11	1.15	0.30
Sólidos Suspendedos (mg/L)	138.18	31.54	64.61	48.80	48.00	33.30	13.00	38.00	59.00
Hierro soluble (mg/L)	0.16			0.03			<0.03		0.19
Zinc (mg/L)	0.13			0.06			0.01		0.06
Cobre (mg/L)	<0.05			<0.01			0.01		0.02
Níquel (mg/L)	<0.05			0.04			<0.01		0.03
Cromo total (mg/L)	<0.05			<0.004			<0.004		<0.004
Plomo (mg/L)	<0.05			<0.002			<0.002		<0.002
Cadmio (mg/L)	<0.010			<0.005			<0.005		<0.002
Mercurio (mg/L)	<0.001			<0.001			<0.001		<0.001

Se observa que los valores de caudal (i.e. caudal medido en el día de muestreo) varió entre 504.6 L/s en Agosto del 2004 y 750 L/s en Junio del 2004, con un promedio para este período de 637.54 L/s, valor que está bajo el máximo permitido de 900 L/s (cf. RA Exenta N°279/98 Corema X Región).

La temperatura varió entre 28 °C (Agosto del 2004) y 32.9 °C (Noviembre del 2004), este último valor sobrepasa lo establecido en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, correspondiente a <30 °C. La media del período de operación fue de 29.41 °C; valor menor pero muy cercano al límite establecido (Tabla 15 y 16).

Tabla 16 Valores mínimos, máximos y medios de las características fisicoquímicas de los riles de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO), entre Abril y Diciembre del 2004. Se muestran los valores máximos permitidos por la RA Exenta 279/98 Corema X Región. En rojo se indican aquellos valores que sobrepasan dichos límites.

	Mínimo	Máximo	Media	RA Exenta N° 279/98
Caudal (L/s)	504.60	750.00	637.54	900.00
Temperatura (°C)	28.00	32.80	29.41	< 30
pH (°H)	6.20	6.70	6.44	6.5 - 9.0
Conductividad (µS/cm)	2 360	5 300	3 223.61	
DBO ₅ (mg/L)	2.60	60	19.07	50
DQO (mg/L)	<20	318	134.31	313
Fósforo total (mg/L)	<0.02	0.39	0.12	0.33
Nitrógeno total (mg/L)	0.30	5.04	1.59	4.20
Sólidos Suspendidos (mg/L)	13	138.18	51.66	50
Hierro soluble (mg/L)	<0.03	0.19	0.04	1.30
Zinc (mg/L)	0.01	0.13	0.03	1.00
Cobre (mg/L)	<0.01	<0.05	0.01	0.07
Níquel (mg/L)	<0.01	<0.05	0.01	0.06
Cromo total (mg/L)	<0.004	<0.05	0.01	0.050
Plomo (mg/L)	<0.002	<0.05	0.01	0.030
Cadmio (mg/L)	<0.002	0.01	0.00	0.010
Mercurio (mg/L)	<0.001	<0.001	0.00	0.005

El pH osciló en el período entre 6.2 y 6.7 para Septiembre y Octubre del 2004, respectivamente; con una media integrada de 6.44. De un total de nueve meses del período analizado, sólo están cumpliendo cuatro meses de acuerdo a lo establecido en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, correspondiente a 6.5 – 9.0 y quedando fuera del rango la media del período (i.e. valor de 6.44).

La conductividad registrada varió entre 2360 µS/cm (Julio del 2004) y 5300 µS/cm (Junio del 2004) y con una media del período de 3223.61 µS/cm (Tablas 15 y 16).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) varió desde un mínimo de 2.3 mg/L (Noviembre del 2004) a 60 mg/L (Junio del 2004), registrando una media de 19.07 mg/L. El valor de Junio del 2004 sobrepasó lo establecido en la RA Exenta N°279/98, correspondiente a 50 mg/L. Similar a lo observado, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) varió entre <20 mg/L (Octubre del 2004) y 318 mg/L (Agosto del 2004), sobrepasando este último valor a lo establecido en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, correspondiente a 313 mg/L; mientras que la media del período operacional fue de 134.31 mg/L (Tablas 15 y 16).

Los nutrientes, Nitrógeno total (Nt) y Fósforo total (Pt) mostraron variaciones importantes, correspondiendo para el Nt un rango entre 0.11 a 5.04 mg/L, registrados en Octubre y Mayo del 2004, respectivamente. La concentración de Nt del mes de Mayo del 2004 sobrepasó lo establecido en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, que corresponde a 4.2 mg/L Nt, mientras que la media del período correspondió a 1.59 mg/L. Para el Fósforo total la variación se presentó entre <0.02 (Octubre y Noviembre del 2004) y 0.39 mg/L (Agosto del 2004), sobrepasándose lo establecido en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, correspondiente a 0.33 mg/L Pt; la media del período fue de 0.12 mg/L Pt.

La concentración de Sólidos Suspendidos mostró una fuerte variación, entre 13 y 138.18 mg/L, Octubre y Abril del 2004, respectivamente. Se sobrepasó lo establecido en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, correspondiente a 50 mg/L, en los meses de Abril, Junio y Diciembre del 2004. La media del período operacional corresponde a 51.66 mg/L, valor sobre lo establecido en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región.

Los metales analizados corresponden a Hierro soluble, Zinc, Cobre, Níquel, Cromo total, Plomo, Cadmio y Mercurio. Las concentraciones de Cobre, Níquel, Cromo total, Plomo, Cadmio y Mercurio presentaron mayoritariamente valores equivalentes al límite de detección y por debajo a lo establecido en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, que corresponde a 0.07 mg/L para Cobre, 0.06 mg/L para Níquel, 0.05 mg/L para Cromo total, 0.03 mg/L para el Plomo, 0.01 mg/L para Cadmio y 0.005 mg/L para

Mercurio. Sin embargo, específicamente para el Plomo, es conveniente reducir el límite de detección, ya que en el mes de Abril del 2004 el valor correspondió a <0.05 mg/L, lo que no permitió determinar si efectivamente se cumplió lo establecido en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, que corresponde a 0.03 mg/L Pb. Las concentraciones de otros metales, Hierro soluble entre 0.03 y 0.19 mg/L y Zinc entre 0.01 y 0.13 mg/L, que presentan fuertes variaciones, se encuentran muy por debajo de lo establecido en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, que corresponde a 1.3 mg/L Hierro soluble y de 1.0 mg/L Zn (Tablas 15 y 16).

En resumen, los parámetros de los diferentes Muestreos Mensuales que han excedido lo establecido en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, corresponden a temperatura, pH, DBO₅, DQO, Nitrógeno y Fósforo total, y Sólidos Suspendidos. Respecto a los promedios integrados del período de análisis, Abril a Diciembre del 2004, sólo no cumple el pH y la concentración de Sólidos Suspendidos (ver Tabla 16).

5.2.4. Cálculo de cargas diarias de los riles de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO) en Mariquina

En la Tabla 17 se presentan las cargas diarias netas del Efluente CELCO desde Abril a Diciembre del 2004 en base a las concentraciones registradas en los Muestreos Mensuales y caudales correspondientes al día del muestreo. En Tabla 18 se presentan las cargas diarias netas mínima, máxima y media, descargadas al río Cruces por el Efluente CELCO en el período Abril a Diciembre del 2004. Mientras que en Tabla 19 se presentan las cargas diarias netas equivalentes a las respectivas concentraciones establecidas en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región. Esta carga diaria neta equivalente corresponde al cálculo de la respectiva concentración máxima autorizada en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región y al caudal real diario descargado en el día de muestreo.

Tabla 17. Cargas netas diarias (kg/d) de los riles de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO), durante Abril y Diciembre del 2004. Se especifican los informes de laboratorios que se utilizaron como las fuentes de estos análisis. En rojo se indican aquellos valores sobre el límite permitido por la RA Exenta 279/98, Corema X Región.

	20 Abril	14 May	18 Jun	20-21 Jul	19 Ago	21-22 Sep	19-20 Oct	29 Nov	21-22 Dic
Informe de Lab. N°	1212	1267	1325	1373-2	1443	1493-2	1520-2	1579-2a	1617-2
Caudal Diario (m ³ /h)		1977.9	2700.0	2387.1					
Caudal día Muestreo (L/s)	584.20	549.42	750.00	663.08	504.60	666.00	718.70	714.20	587.70
Temperatura (°C)	28.60	28.60	29.20	28.50	28.00	28.60	30.20	32.80	29.30
pH (⁺ H)	6.50	6.30	6.30	6.60	6.40	6.70	6.20	6.30	6.70
Conductividad (μS/cm)	3472.00	3290.00	5300.00	2360.00	2610.30	2665.20	2589.00	3376.80	2988.50
DBO ₅ (kg/d)	252.37	783.25	3888.00	2291.62	653.96	161.12	298.06	160.44	964.77
DQO (kg/d)	6056.99	4739.36	5806.08	5116.03	13863.99	9552.04	<1241.91	12032.84	8175.14
Fósforo total (kg/d)	12.11	1.42	12.96	6.87	17.00	1.15	<1.24	<1.23	5.59
Nitrógeno total (kg/d)	75.71	239.25	256.61	22.92	74.99	25.32	6.83	70.96	15.23
Sólidos Suspendidos (kg/d)	6974.62	1497.19	4186.73	2795.77	2092.68	1916.16	807.24	2344.86	2995.86
Hierro soluble (kg/d)	8.08			1.72			<1.86		9.65
Zinc (kg/d)	6.56			3.44			0.62		3.05
Cobre (kg/d)	<2.52			<0.57			0.62		1.02
Níquel (kg/d)	<2.52			2.29			<0.62		1.52
Cromo total (kg/d)	<2.52			<0.23			<0.25		<0.20
Plomo (kg/d)	2.52			<0.11			<0.12		<0.10
Cadmio (kg/d)	<0.50			<0.29			<0.31		<0.10
Mercurio (kg/d)	<0.05			<0.06			<0.06		<0.05

Tabla 18. Valores mínimos, máximos y medios de las cargas netas diarias de los riles de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO), entre Abril y Diciembre del 2004. En rojo se indican aquellos valores que sobrepasan los límites permitidos por la RA Exenta 279/98, Corema X Región.

	Mínimo	Máximo	Media	RA Exenta N° 279/98	DS 90/00 MINSEGPRES
Caudal (L/s)	504.60	750.00	637.54	900	900
Temperatura (°C)	28.00	32.80	29.41	<30	35
pH (°H)	6.20	6.70	6.44	6.5-9.0	6.0-8.5
Conductividad (µS/cm)	2360.00	5300.00	3223.61		
DBO ₅ (kg/d)	160.44	3888.00	1050.40	3888.00	2721.60
DQO (kg/d)	1241.91	13863.99	7398.26	24338.88	
Fósforo total (kg/d)	1.15	17.00	6.62	25.66	777.60
Nitrógeno total (kg/d)	6.83	256.61	87.54	326.59	3888.00
Sólidos Suspendidos (kg/d)	807.24	6974.62	2845.68	3888.00	6220.80
Hierro soluble (kg/d)	1.72	9.65	5.33	101.09	388.80
Zinc (kg/d)	0.62	6.56	3.42	77.76	233.28
Cobre (kg/d)	0.57	2.52	1.18	5.44	77.76
Níquel (kg/d)	0.62	2.52	1.74	4.67	15.55
Cromo total (kg/d)	0.20	2.52	0.80	3.89	3.89
Plomo (kg/d)	0.10	2.52	0.72	2.33	3.89
Cadmio (kg/d)	0.10	0.50	0.30	0.78	0.78
Mercurio (kg/d)	0.05	0.06	0.06	0.39	0.08

La carga diaria neta de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) del ril varió desde un mínimo de 160.44 kg/d (Noviembre del 2004) a 3 888.00 kg/d (Junio del 2004), registrando una carga media del período operacional de 1 050.40 kg/d (Tabla 19). La carga diaria calculada para el muestreo de Junio del 2004 sobrepasó la carga equivalente a 3 240.00 kg/d, según la respectiva concentración establecida en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región (Tabla 18).

Tabla 19. Carga diaria equivalente a concentración establecida en RA exenta 279/98, Corema X Región (ver texto) Se presenta el promedio del período (i.e. Abril a Diciembre del 2004)

	20 Abril	14 May	18 Jun	20-21 Jul	19 Ago	21-22 Sep	19-20 Oct	29 Nov	21-22 Dic	media
Caudal Diario (m ³ /h)		1977.9	2700.0	2387.1						
Caudal día muestreo (L/s)	584.20	549.42	750.00	663.08	504.60	666.00	718.70	714.20	587.70	5737.90
DBO ₅ (kg/d)	2523.74	2373.48	3240.00	2864.52	2179.87	2877.12	3104.78	3085.34	2538.86	2754.19
DQO (kg/d)	15798.64	14857.98	20282.40	17931.90	13646.00	18010.77	19435.95	19314.25	15893.29	17241.24
Fósforo total (kg/d)	16.66	15.66	21.38	18.91	14.39	18.99	20.49	20.36	16.76	18.18
Nitrógeno total (kg/d)	211.99	199.37	272.16	240.62	183.11	241.68	260.80	259.17	213.26	231.35
Sólidos Suspendidos (kg/d)	2523.74	2373.48	3240.00	2864.52	2179.87	2877.12	3104.78	3085.34	2538.86	2754.19
Hierro soluble (kg/d)	65.62	61.71	84.24	74.48	56.68	74.81	80.72	80.22	66.01	161.12
Zinc (kg/d)	50.47	47.47	64.80	57.29	43.60	57.54	62.10	61.71	50.78	123.94
Cobre (kg/d)	3.53	3.32	4.54	4.01	3.05	4.03	4.35	4.32	3.55	8.68
Níquel (kg/d)	3.03	2.85	3.89	3.44	2.62	3.45	3.73	3.70	3.05	7.44
Cromo total (kg/d)	2.52	2.37	3.24	2.86	2.18	2.88	3.10	3.09	2.54	6.20
Plomo (kg/d)	1.51	1.42	1.94	1.72	1.31	1.73	1.86	1.85	1.52	3.72
Cadmio (kg/d)	0.50	0.47	0.65	0.57	0.44	0.58	0.62	0.62	0.51	1.24
Mercurio (kg/d)	0.25	0.24	0.32	0.29	0.22	0.29	0.31	0.31	0.25	0.62

La carga diaria neta de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), varió entre 1241.91 kg/d (Octubre del 2004) a 13 863.99 kg/d (Agosto del 2004), con una media del período de 7398.25 kg/d. La carga diaria correspondiente al muestreo de Agosto del 2004 sobrepasó levemente a la equivalente a la respectiva concentración establecida en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, correspondiente a 13 646 kg/d DQO (Tabla 18).

Las cargas diarias netas de los nutrientes, Nitrógeno total (Nt) y Fósforo total (Pt) mostraron variaciones importantes durante el período, correspondiendo para el Nt un rango entre 6.83 kg/d a 256.61 kg/d, registrados en Octubre y Junio del 2004, respectivamente. La carga diaria neta del Fósforo total varió entre 1.15 kg/d (Septiembre del 2004) a 17 kg/d (Agosto del 2004), sobrepasando este último valor a la carga equivalente asociada a la concentración establecida en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, correspondiente a 14.39 kg/d (Tabla 19).

La carga diaria neta promedio de Sólidos Suspendidos mostró una fuerte variación, entre 807.24 kg/d a 6 974.62 kg/d, Octubre y Abril del 2004, respectivamente. En los muestreos asociados a los meses de Abril, Junio y Diciembre del 2004, se sobrepasó la carga diaria neta equivalente a la respectiva concentración establecida en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región; que corresponde a 2 523.74 kg/d en Abril del 2004 donde se descargaron 6 974.62 kg/d; a 3 240.00 kg/d en Junio del 2004 donde se descargó un total de 4 186.73 kg/d y a 2 538.86 kg/d en Diciembre del 2004 donde se descargaron 2995.86 kg/d. La carga diaria neta promedio del período descargada correspondió a 2 845.68 kg/d y es superior a la carga diaria neta promedio equivalente a la respectiva concentración establecida en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, que correspondió a 2754.19 kg/d SS.

Las cargas diarias netas de todos los metales analizados y que corresponden a Hierro soluble, Zinc, Cobre, Níquel, Cromo total, Plomo, Cadmio y Mercurio, se encuentran por debajo de las cargas diarias netas equivalentes a las respectivas concentraciones establecidas en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región (Tabla 19).

En resumen, los parámetros asociados a las respectivas cargas diarias netas de los diferentes Muestras Mensuales que no cumplieron con la carga equivalente a la concentración establecida en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, correspondieron a la DBO₅, DQO, Fósforo total y Sólidos Suspendidos. Respecto a la carga diaria neta del período Abril a Diciembre del 2004, que sobrepasa a la carga equivalente según la concentración establecida en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, correspondió sólo a Sólidos Suspendidos.

5.2.5. Actividades de movimiento y extracción de áridos en la cuenca del río Cruces

Antecedentes

Las actividades de movimiento de áridos en el cauce mismo del río Cruces parece ser una actividad puntual en el tiempo; tal es el caso del movimiento que realiza desde hace cuatro años la Dirección de Vialidad del MOP en el sector del río Cruces comprendido entre Ciruelos y Pelchuquín. Ese movimiento se realiza entre los meses de Febrero y Abril, aproximadamente, y está destinado a mejorar las orillas del cauce y evitar inundaciones de terrenos aledaños durante períodos de máxima pluviometría y aumento de caudales (información entregada por la Dirección de Vialidad, oficina Valdivia). Este tipo de actividad se manifiesta principalmente en una pluma de dispersión, la que produce cambios en el color de las aguas del río (Fotografía 2).



Fotografía 2. Movimiento de áridos en el cauce del río Cruces, aguas arriba de San José de la Mariquina. A la izquierda se observa la pluma de dispersión de color marrón que se desplaza por el río Cruces, producto de la actividad de excavación del buldózer sobre el fondo del río.

Las actividades de extracción de áridos es un rubro extendido en la cuenca del río Cruces, cercana a Lanco y San José de la Mariquina. Varios de los pozos de áridos permanecen como remanentes sin uso desde el tiempo de mayor actividad de los mismos (construcción de la doble vía y de la Planta Valdivia de CELCO); otros están en plena actividad, algunos de los cuales desaguan sus aguas de lavado al río Cruces. La extracción y lavado de áridos está acompañada de la formación de grandes piletas, donde se almacenan aguas que presentan un color verde turquesa. Con el objetivo de evaluar el impacto de esa actividad, se analizaron muestras de agua recolectadas en: i) pozos localizados en el sector de Lanco y cuyos riles no desembocan al río Cruces (sitio 1), ii) canal que une dos grandes piletas de pozos ubicados al norte de San José de la Mariquina (sitio 2) y iii) zona del río Cruces ubicada antes y después del ingreso de las aguas que escurren de esas piletas (sitios 3A y 3B, respectivamente). Durante la toma de muestras en los pozos de áridos de San José de la Mariquina (sitio 2), se contó con la presencia del Fiscalizador de CONAMA (Oficina Valdivia), Sr. Germán Krause. En la Tabla siguiente se entrega la ubicación geográfica de los sitios de muestreo en coordenadas sexagesimales y UTM (Grilla de referencia de conversión en UTM: 184xb4533604584).

Sitio de Muestreo	Ubicación	Sexagesimal		UTM	
1	Pozo de áridos en Lanco, cerca peaje en Ruta 5 Sur	39°28'56.8''S	072°48'34.9''W	688385E	5627319N
2	Canal de comunicación entre piletas de pozo de áridos al Norte de San José de la Mariquina	39°32'46.9''S	072°56'12.7''W	677284E	5620483N
3A y 3B	Río Cruces, antes del punto de descarga de las aguas del pozo de áridos al Norte de San José de la Mariquina	39°32'64.6''S	072°57'03.9''W	676049E	5619465N

Metodología para la obtención y análisis de las muestras

Las muestras de agua se obtuvieron el 13 de Abril del 2005 (ver Fotografía 3). Se midió la conductividad y pH con conductivímetro y pHmetro, respectivamente. Se analizó la cantidad de Sólidos Suspendedos, Disueltos (detalles de metodologías en Capítulo 6) y Sedimentables con uso de Conos Imhoff.



Fotografía 3. Vistas aéreas de las piletas asociadas a una actividad de extracción de áridos en el sector norte de San José de la Mariquina. a) La flecha señala el punto donde se recolectaron las muestras en el canal que une las dos piletas, b) ubicación de las piletas en relación al cauce del río Cruces (rC), c) las flechas señalan los puntos de muestreo de agua, aguas arriba (izquierda) y aguas abajo (derecha) del punto de descarga de las aguas de las piscinas.

Resultados

La Tabla siguiente muestra los valores de conductividad y pH medidos en cada sitio de muestreo y en una Planta de referencia según datos del Informe Técnico “Medidas de Mitigación de las Aguas Residuales de la Planta de Áridos, Puerto Varas”, Etapa 1”, 1999, 40 pp.

Estación de muestreo		Conductividad $\mu\text{S} / \text{cm}$	pH
Sitio 1	Lanco	190	7.7
Sitio 2	Canal de Lagunas	65	7.5
Sitio 3 A	Antes descarga en río cruces	173	7.7
Sitio 3 B	Después de descarga en río cruces	172	7.7
	Planta de referencia	31.6	6.7

Las aguas de las lagunas asociadas a la actividad de áridos (Sitio 2) presentaron una menor conductividad ($65 \mu\text{S}/\text{cm}$) que las registradas en las estaciones del río Cruces, con $173 \mu\text{S}/\text{cm}$ aguas arriba y $172 \mu\text{S}/\text{cm}$ aguas debajo de la descarga. Mientras que las aguas estancadas en pozos presentaron una conductividad similar a la del río.

Al cabo de una hora, no se detectaron Sólidos Sedimentables en el agua examinada de cada sitio. Las concentraciones de Sólidos Suspendidos y Disueltos (fracciones orgánica e inorgánica) se muestran en la Tabla siguiente (los valores son promedios de dos réplicas con desviación estándar en paréntesis), además de los resultados obtenidos para la Planta de referencia citada anteriormente.

	Sólidos Suspendedos (mg/L)			Sólidos Disueltos (mg/L)		
	SS Orgánico	SS inorgánico	SS Total	SD orgánico	SD inorgánico	SD Total
Sitio 1	5.7(0.3)	5.8 (1.6)	11.4 (1.3)	32.0 (33.9)	6.0 (2.8)	38.0 (36.8)
Sitio 2	2.4 (0.2)	8.5 (0.6)	10.9 (0.9)	17.0 (1.4)	6.0 (2.8)	23.0 (4.2)
Sitio 3 A	1.7(0.3)	2.3 (0.1)	4.0 (0.2)	12.0 (0.0)	56.0 (5.7)	68.0 (5.7)
Sitio 3 B	1.8 (0.4)	2.3 (0.2)	4.0 (0.5)	40.0(5.7)	77.0 (12.7)	117.0 (18.4)
Planta referencia Ril crudo	594.53	10 778.94	11 373.47	58.95	161.84	220.80
Planta referencia Ril sedimentado	12.27	64.80	77.07	42.45	47.98	90.43

En todos los sitios analizados se observó que predominan los Sólidos Disueltos por sobre el 68% (77% en el Sitio 1, 68% en el Sitio 2 y 94 y 97% en estaciones aguas arriba (3A) y aguas abajo de la descarga (3B) en el río Cruces, respectivamente). Los datos permitieron evidenciar que existe en el tramo 3A-3B un incremento equivalente a 49 mg/L en la concentración de Sólidos Totales (72 a 121 mg/L ST), aporte atribuible en un 100% a los Sólidos Disueltos (aporte constituido en un 57% (28 mg/L) de orgánicos y 43% (21 mg/L) de inorgánicos). Este aporte modifica la calidad del agua del río Cruces que aguas arriba (3A) contenía sólo un 19% de orgánicos a una participación del 35% de los orgánicos, aguas abajo.

Si bien en la muestra del Sitio 2 (canal de lagunas de áridos) predominó la fracción orgánica en los Sólidos Disueltos (74%) y en los Sólidos Totales (57%), el aporte en el río Cruces no es atribuible sólo a esta actividad, ya que las concentraciones fueron mucho menores a las registradas en la estación 3a; es decir, se necesitaría un caudal de descarga superior al caudal del río Cruces para lograr el aporte registrado. Sin embargo, la extracción o movimiento de áridos dentro de un cuerpo de agua, como el lavado de los mismos, está asociado a altas concentraciones de sólidos en el agua. Los resultados obtenidos en otra zona de extracción de áridos de la X Región, denominado Planta referencia en la Tabla anterior, mostraban al momento del estudio (1999) altas

concentraciones de sólidos totales en el ril crudo del lavado de los áridos; del orden de los 11.6 g/L y alta capacidad de sedimentación (46.01 ml/L 1 h). Esos sólidos estaban constituidos mayoritariamente por Sólidos Suspendidos (98%) y de carácter inorgánico (95% de los Sólidos Suspendidos). Los Sólidos Disueltos que representaban el 2% del total de sólidos, registraban un porcentaje de fracción inorgánica cercano al 73%.

Las características de los sólidos en las aguas residuales del lavado de áridos ocurrientes en esa Planta, permitían sedimentar un alto porcentaje de los Sólidos Suspendidos, con retenciones hidráulicas de 1 hora (reducción desde 11 373.49 mg/L a 77.07 mg/L SS), lo que se reflejó en la drástica reducción de los sólidos sedimentables (de 46.01 ml/L a 0.09 ml/L). Si bien se descargaban concentraciones menores a las establecidas en Tabla 1 (Sólidos Suspendidos = 80 mg/L) del DS N° 90/00, Minsegpres, las cargas asociadas de sólidos fueron altas. La descarga después de la sedimentación, además mostraba una concentración de 90.43 mg/L de Sólidos Disueltos, resultando un total de 167.5 mg/L de Sólidos Totales.

5.4. Conclusiones

- i) Solo un escaso grupo de los pesticidas en uso en Valdivia (tanto en tipo como cantidad) incluye entre sus componentes activos a metales pesados como Cobre, Manganeso, Zinc y Bromo
- ii) El glifosato, herbicida de mayor uso dentro de los pesticidas, no es de fácil lixiviación
- iii) Las descargas de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de Máfil y San José de la Mariquina (EDAS) no sobrepasan los límites establecidos en el DS90/00 Minsegpres.
- iv) Respecto a las concentraciones del ril de CELCO, los parámetros de los diferentes Muestreos Mensuales que han excedido lo establecido en la RA

Exenta N°279/98, Corema X Región, corresponden a **temperatura, pH, DBO₅, DQO, Nitrógeno y Fósforo total, y Sólidos Suspendidos**. Respecto a los promedios integrados del período de análisis, Abril a Diciembre del 2004, sólo no cumplieron el **pH** y la concentración de **Sólidos Suspendidos**.

- v) Respecto a las cargas netas diarias, los parámetros asociados a las respectivas cargas diarias netas de los diferentes Muestras Mensuales que no cumplieron con la carga equivalente a la concentración establecida en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, correspondieron a la **DBO₅, DQO, Fósforo total y Sólidos Suspendidos**. Respecto a la carga diaria neta del período Abril a Diciembre del 2004, que sobrepasó a la carga equivalente según la concentración establecida en la RA Exenta N°279/98, Corema X Región, correspondió sólo a **Sólidos Suspendidos**.
- vi) Por lo tanto, se concluye que en **reiteradas oportunidades durante el período de operación analizado de la Planta CELCO** (Abril a Diciembre del 2004) se han **sobrepasado los límites establecidos** para la descarga del Ril, considerando sólo los antecedentes de los Muestras Mensuales.
- vii) Al comparar las descargas de las EDAS y CELCO, se tiene que la suma de las descargas de las EDAS equivalen a un 8.35% del caudal medio del Ril de CELCO. La DBO₅ de las EDAS corresponde a 13.71 mg/L y el Ril CELCO es de 19.07 mg/L, mientras que la DQO de las EDAS es de 18.73 mg/L y la del Ril CELCO de 134.31 mg/L. Las concentraciones de nutrientes de las EDAS son muy superiores a las descargadas por CELCO, con valores de 2.9 mg/L Pt y de 16.17 mg/L Nt en contra de concentraciones de CELCO de 0.12 mg/L Pt y 1.59 mg/L Nt. Los Sólidos Suspendidos descargados por las EDAS registraron una media de 25.21 mg/L, mientras que CELCO presentó una concentración de 51.66 mg/L.

- viii) De lo anterior se deduce que las EDAS registran mayores concentraciones de nutrientes respecto a CELCO, pero a nivel de cargas netas diarias, sólo descargarían una mayor cantidad de Fósforo total (13.32 kg/d) respecto a los 6.62 kg/d Pt que descarga CELCO. Mientras que para los otros parámetros analizados, las EDAS respecto a la descarga de CELCO, aportarían el equivalente al 6% de la DBO₅; el 1.16% de la DQO; el 84.74 % de Nitrógeno total y el 4.07% de los Sólidos Suspendidos.
- ix) Los Riles de Lanco y San José de la Mariquina descargan aguas arriba del efluente de CELCO en el río Cruces, por lo tanto su incidencia (o aporte) en las características de la calidad del agua del río Cruces estaría incorporada en la estación 1 (denominada Aguas Arriba Bocatoma) que es el punto de referencia del muestreo del PMA de CELCO.
- x) El agua de las piletas de áridos registró mayoritariamente concentraciones de Sólidos Disueltos orgánicos, producto probablemente del crecimiento de microalgas en las mismas.
- xi) Las características de las aguas del río Cruces, aguas arriba de la descarga de las piletas de los pozos estudiados, difieren debido a que predomina la fracción inorgánica.
- xii) En el tramo analizado, que incluye la descarga al río Cruces de las piletas de los pozos de áridos estudiados, se registró un aporte importante en la concentración exclusiva de Sólidos Disueltos (57% de orgánicos y 43% de inorgánicos).
- xiii) El aporte modificó la participación de la fracción orgánica en la calidad de agua del río Cruces, de un 19% aguas arriba a un 35% aguas abajo de la descarga.

- xiv) Aún cuando predominó la fracción orgánica en los Sólidos Disueltos (74%) de la descarga, el aporte no es atribuible sólo a esta actividad, ya que las concentraciones fueron mucho menores a las registradas en la estación 3A aguas arriba en el río; es decir, se necesitaría un caudal de descarga superior al caudal del río Cruces para lograr el aporte registrado.

- xv) Por lo tanto, existen otras fuentes generadoras que han participado en el aporte registrado.

6. Calidad del agua del río Cruces

6.1 Antecedentes

Los ambientes fluviales respecto a los estuarinos, son totalmente distintos, mostrando una alta variabilidad ambiental, dada principalmente por diferencias en el caudal (incluyendo velocidades y sentido del flujo) y características fisicoquímicas y biológicas de la columna de agua, expresándose estas diferencias en variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua. Si bien esta variabilidad puede estar mediada por variaciones típicas diarias del sistema (i.e., salinidad en un sistema estuarial), y estacionales (i.e., temperatura, caudal), es decir, una variabilidad natural y propia del sistema, también puede ser modificada por aportes externos asociados a actividades antrópicas, distinguiéndose estos aportes en descargas directas y descargas difusas.

La legislación vigente regula la disposición de residuos líquidos (riles) en diversos cuerpos de agua superficiales, es decir, existe una Norma para las descargas directas asociadas a cuerpos receptores de aguas superficiales, distinguiéndose en descargas a cuerpos de aguas fluviales (con y sin dilución), lacustres, dentro y fuera de zona de protección litoral, según lo establecido en la Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, D.S. N° 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la

Presidencia (DO 07.03.2001). Específicamente en esta Norma de emisión no se distingue a los sistemas fluviales de los estuariales, como tampoco la diferencia entre concentración y carga asociada a dicha concentración.

Lo anterior, cobra importancia cuando las cargas asociadas a las concentraciones de la descarga, menores o iguales a las máximas, establecidas en la Norma de Emisión (DS N°90, Minsegespres) inciden de manera significativa en la calidad del agua del cuerpo receptor, es decir, las concentraciones de una descarga de residuos líquidos, aún cuando cumpla o esté por debajo del máximo establecido en la Norma, no asegura ni garantiza que la calidad del agua no se vea afectada y menos aún, proteja al sistema biótico del cuerpo de agua. Por lo tanto, cada sistema acuático tiene su propia capacidad de carga máxima, no sólo contemplando la dilución en base a su hidrodinámica, sino también la ocurrencia de las potenciales reacciones fisicoquímicas en la columna de agua y sedimentos y los límites de tolerancia biológicos de las especies que lo conforman.

La alta diversidad ambiental propia de un humedal, sumada a una condición estuarial, se traduce en un sistema complejo y sensible, además, propio y único. Teniendo en cuenta la complejidad y cantidad de dificultades que complican en gran medida la medición de exposiciones en el medio ambiente (i.e., generalmente de tipo bioquímico y fisiológico) y sus consecuencias sobre los sistemas dinámicos naturales, se está produciendo un progresivo uso de bioindicadores, ya que son los propios organismos en su medio natural quienes facilitan los indicadores de respuesta medioambiental.

6.2. Metodologías para la obtención de las muestras

En la Figura 6 se muestra la ubicación de las cuatro estaciones de muestreo donde se recolectaron muestras destinadas a la caracterización fisicoquímica de la columna de agua del río Cruces, durante Enero del 2005. La estación 1a se ubicó aproximadamente 100 m aguas arriba del Efluente de los riles de la planta de CELCO, en la comuna de San José de la Mariquina. La estación 1b se ubicó en la zona del río Cruces inmediatamente aguas debajo de la descarga del Efluente CELCO. La estación 2 se ubicó en el sector del

río Cruces aledaño al puente Rucaco (aproximadamente a 1.5 Km aguas abajo de la estación 1b), y la cuarta estación se ubicó frente al muelle del Fuerte San Luis al ingreso del Humedal del río Cruces (aproximadamente 20 Km aguas abajo del puente Rucaco (estación 3). En la Tabla 20 se muestran las coordenadas geográficas y UTM de las cuatro estaciones del río Cruces.

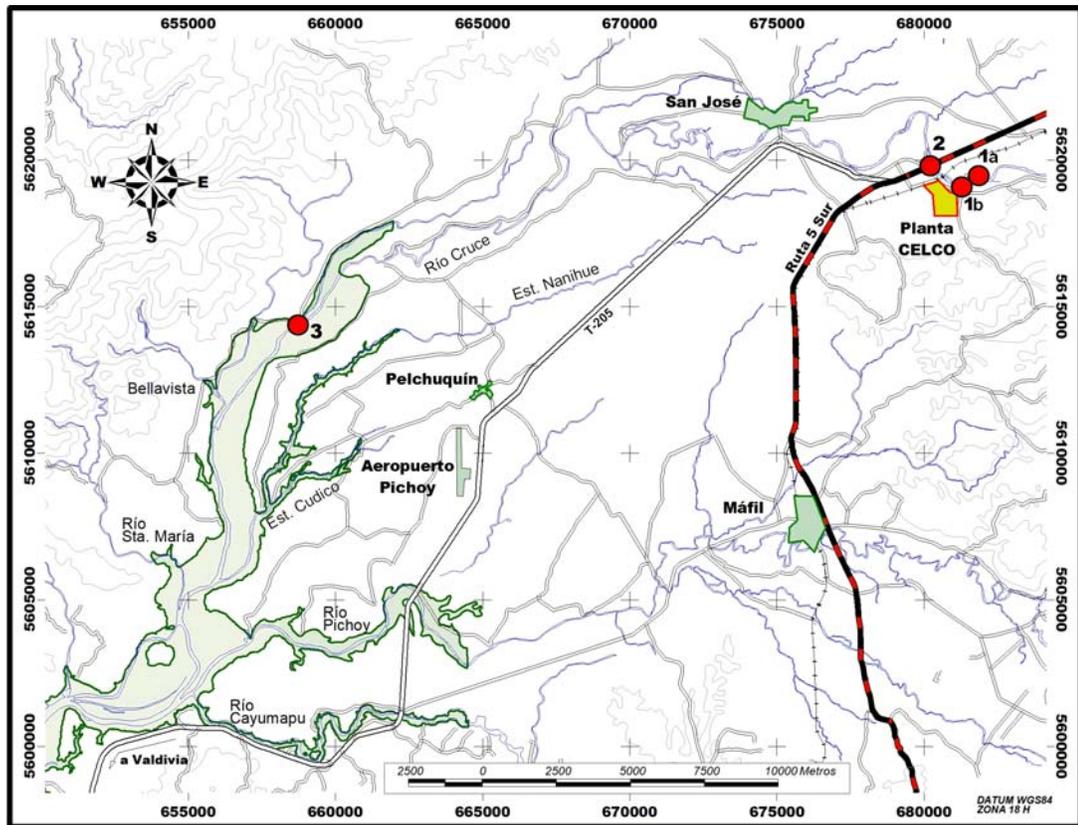


Figura 6. Ubicación de las cuatro estaciones de muestreo para la caracterización fisicoquímica del agua en el río Cruces. Estación 1a = 100 m aguas arriba del efluente de los riles de la planta de CELCO; estación 1b= la zona aledaña al Efluente CELCO; estación 2= sector aledaño al puente Rucaco; estación 3= frente al muelle del Fuerte San Luis al ingreso del Humedal del río Cruces.

En cada una de esas estaciones de muestreo se obtuvieron muestras horarias por un período de 24 horas mediante un muestreador automático. Estas muestras se recolectaron de dos profundidades en las estaciones 1a, 1b y 2; superficie (50 cm bajo la superficie del agua) y fondo (aproximadamente 50 cm sobre el fondo). En la estación 3 se agregó una profundidad media (equidistante entre superficie y fondo). Los días de

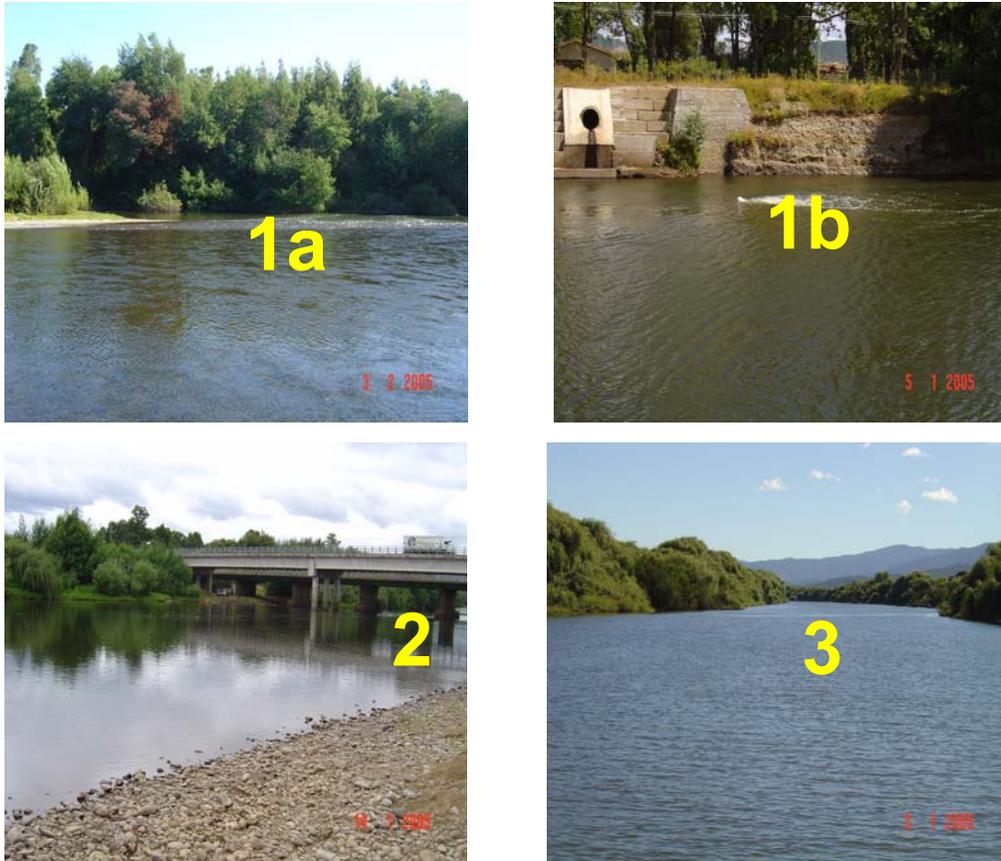
muestreo de agua fueron: 3-4 de Enero del 2005 (estación 3), 5-6 de Enero del 2005 (estación 1a y 1b) y 6-7 de Enero del 2005 (estación 2).

Cada una hora se realizaron mediciones del caudal, temperatura, pH y Oxígeno Disuelto (muestras puntuales) y se recolectaron muestras de agua para su caracterización fisicoquímica (muestras compuestas). Estas muestras de agua (recolectadas cada hora) fueron dispuestas en recipientes adecuados y finalizado el ciclo de 24 horas se recolectaron dos muestras compuestas. Las cuales integraron la variabilidad horaria de la calidad del agua.

Tabla 20. Ubicación geográfica de las estaciones muestreadas e el río Cruces en coordenadas sexagesimales y UTM (Grilla de referencia de conversión en UTM: 184xb4533604584).

	Sexagesimal		UTM	
estación 1a	39°33'31.9''S	072°52'99.2''W	657574E	5521948N
estación 1b	39°33'53.7''S	072°53'39.5''W	672100 E	5603631 N
estación 2	39°33'16.4''S	072°54'14.7''W	676818 E	5615030 N
estación 3	39°36'73.7''S	073°09'54.9''W	692257E	5611894N

En la Fotografía 4 se muestran vistas del entorno adyacente a las estaciones de muestreo.



Fotografía 4 Vista de las estaciones de muestreo seleccionadas para el estudio de la calidad del agua del río Cruces: 1a) aguas arriba de bocatoma planta Valdivia de CELCO, 1b) aguas del río cerca del Efluente de CELCO, 2) Rucaco, 3) ingreso al Humedal del río Cruces, sector Fuerte San Luis (ver texto).

6.3. Metodologías para el análisis de las muestras

La caracterización fisicoquímica de las aguas del río Cruces se basó en el análisis de las siguientes variables:

- Caudal
- Temperatura
- pH
- Conductividad
- Oxígeno Disuelto

- Concentración de Sólidos Suspendidos y fracciones
- Concentración de Sólidos Disueltos y fracciones
- Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno
- Nitrógeno Kjeldahl, Nitrato, Amonio, Fósforo total y Fósforo soluble
- Metales pesados (Hierro soluble, Manganeseo, Cobre, Cromo, Niquel, Cadmio, Zinc, Plomo y Mercurio)
- Compuestos fenólicos, fenólicos halogenados, pesticidas organoclorados individuales y totales y pesticidas organofosforados
- AOX o compuestos orgánicos halogenados adsorbibles
- Hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos halogenados
- Esteres ftalatos, esterres organofosfatos, nitrosaminas, haloéteres, aldehídos, anilinas, piridinas, quinolinas, nitroaromáticos.

A continuación se detallan las metodologías específicas utilizadas en la cuantificación de las variables destinadas a la caracterización física y la química de las aguas del río Cruces.

El caudal se midió con medidor digital de velocidad de agua portátil (molinete) (Marca Global Water).

La temperatura, pH, conductividad y Oxígeno Disuelto se midieron *in situ* con pH-metro, conductivímetro y oxigenómetro, respectivamente.

La concentración de Sólidos en Suspensión se determinó después de filtrar volúmenes conocidos de agua a través de filtros de fibra de vidrio (0,4 μm de diámetro de poro) pre-pesados y secados (65°C, 24 horas). Las fracciones orgánica e inorgánica se estimaron por incineración (550°C, 4 horas) del material retenido en los filtros y cálculos de diferencia de peso (Strickland & Parsons, 1972).

La concentración de Sólidos Disueltos se estimó a partir del agua filtrada. Para esto se colocaron 50 ml de muestra en vasos de precipitado pre-pesados. Luego se secaron

(65°C, 48 horas) e incineraron (550°C, 20 minutos). Las fracciones orgánica e inorgánica se estimaron por cálculos de diferencias de peso (Strickland & Parsons, 1972). La concentración de Sólidos Totales se estimó a partir de las estimaciones de Sólidos Suspendidos y Disueltos.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), se determinó incubando las muestras en total oscuridad durante 5 días a una temperatura de 20°C. Luego se determinó la concentración de Oxígeno Disuelto mediante el método de Winkler. La disminución de la cantidad de Oxígeno Disuelto después del período de incubación entrega una medida de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de la muestra (Standard Methods, 1995).

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se determinó, mediante el método colorimétrico después de reflujo cerrado (Standard Methods, 1995). Las muestras se trataron con una solución de dicromato de potasio en solución de ácido sulfúrico, lo que produce la oxidación de las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables. Las muestras así tratadas, se incubaron durante 2 horas a 150°C. Luego se midió la absorbancia mediante espectrofotómetro a una longitud de 600 nm, para luego comparar con los estándares tratados de la misma manera que las muestras (Standard Methods, 1995).

El Nitrógeno Kjeldahl se determinó mediante un método titrimétrico, el que cuantifica los componentes nitrogenados de origen biológico de las muestras (i.e., aminoácidos, proteínas y péptidos en amonio). Las muestras se digirieron en presencia de ácido sulfúrico concentrado, sulfato de potasio y sulfato mercúrico, hasta evaporación y aparición de vapores blancos de SO₃, cuando la solución se torna incolora o amarilla pálida. El residuo se enfrió y trató con una solución de hidróxido-tiosulfato. El amoniaco producido se destiló y se determinó por titulación con H₂SO₄ (Standard Methods, 1995).

El Nitrato presente en las aguas del río Cruces se determinó mediante un electrodo selectivo, el cual desarrolla un potencial a través de una membrana porosa permitiendo el intercambio iónico que se mide con un potenciómetro (Standard Methods, 1995).

El Amonio se determinó mediante un electrodo selectivo de amonio cuyo potencial es medido con un potenciómetro. El rango de detección de este método es entre 0.03 a 1400 mg de N-NH₃/L (Standard Methods, 1995).

La medición de la concentración de Fósforo total se realizó mediante un método colorimétrico, basado en reacciones específicas del ión ortofosfato. Debido a esto, polifosfatos y algunos compuestos con fósforo orgánico se deben convertir a la forma de ortofosfato, mediante hidrólisis con ácido sulfúrico y digestión por persulfato. Luego las muestras se trataron con molibdato de amonio y tartrato de antimonio y potasio en medio ácido, formándose un complejo antimonio-fosfo-molibdato. Este complejo fue reducido con ácido ascórbico a un complejo de color azul intenso. La intensidad de este color azul es proporcional a la concentración de ortofosfatos en las muestras. Finalmente, las muestras son leídas en espectrofotómetro y comparadas con estándares de concentración conocida (Standard Methods, 1995).

La medición de la concentración de Fósforo soluble se realizó mediante un método colorimétrico, basado en reacciones específicas del ión ortofosfato. Debido a esto, polifosfatos y algunos compuestos con fósforo orgánico se deben convertir a la forma de ortofosfato, mediante hidrólisis con ácido sulfúrico y digestión por persulfato.

Con el objetivo de determinar la concentración de los metales pesados presentes en las aguas del río Cruces, se concentraron muestras en un factor de 100, mediante evaporación o método de extracción (Rivas *et al.* 2003 y 2004). La determinación de la concentración de metales traza, se realizó mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), análisis de llama para Hierro, Manganeso, Cobre, Cromo, Niquel, Plomo, Cadmio, Zinc y Mercurio (Standard Methods, 1995).

Para la determinación de compuestos fenólicos, fenólicos halogenados y organoclorados individuales y totales se usó el método U.S.EPA 8270C en conjunto con el método U.S.EPA 3650B. Las extracciones se realizaron también por el método U.S.EPA 3510C. Brevemente, las muestras son extraídas con diclorometano y sus extractos

separados en una fracción ácida y otra básica/neutra, según el método USEPA 3650B (Acid-base partition clean-up). Otro conjunto de muestras fue extraído con diclorometano en medio neutro, según el método USEPA 3510C (Separatory funnel liquid-liquid extraction). Los extractos se concentraron y luego se analizaron por el método USEPA 8270C (Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)). El límite de detección para muestras de agua es de 10 µg/L. Por medio de este método se pueden determinar 255 compuestos que incluyen hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos y pesticidas clorados, ésteres ftalatos, ésteres organofosfatos, nitrosaminas, haloéteres, aldehídos, anilinas, piridinas, quinolinas, nitroaromáticos y fenoles.

Los análisis de compuestos organofosforados se realizaron por cromatografía gaseosa (GLC) con detector NPD (detector de nitrógeno-fósforo) de acuerdo a la metodología propuesta por Analytical Chemistry Laboratory Guidebook, Quality Systems Branch, Chemistry Division, Food safety & Inspection Service (1995) Organophosphates ORP1, Orp1-1Orp1-16.

Para la determinación de AOX o compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (“adsorbable organic halogen compounds”), se usó la metodología propuesta por norma DIN 38409 H14, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser, Abwasser-und Schlamm-Untersuchung: Bestimmung der adsorbierbaren organisch gebundenen halogene (AOX).

Los datos de caudal, y las características fisicoquímicas de la columna de agua fueron utilizados para la estimación de la carga neta diaria. En aquellos casos en que la concentración de alguna de las variables analizadas fue expresada como un valor menor que el límite de detección específico, el cálculo de la carga se realizó con el valor de dicho límite. Esta estrategia se realizó en todos los casos en que se observó esta situación.

Con el objetivo de evaluar las diferencias en las características fisicoquímicas del agua entre las cuatro estaciones analizadas se realizaron análisis de varianza de una vía (Sokal y Rohlf, 1995). Para esto se agruparon todas las muestras recolectadas en cada una de esas estaciones (i.e. n=4 para las estaciones 1a, 1b y 2 y n=6 para la estación 3). Los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad se evaluaron con los tests de

Bartlett y Kolmogorov-Smirnov, respectivamente. Los datos que vulneraron dichos supuestos fueron transformados mediante logaritmo o raíz cuadrada (Sokal y Rolfh, 1995).

Con el objetivo de evaluar cambios en la calidad del agua a través del tiempo los datos de las características fisicoquímicas de la columna de agua se compararon con datos históricos. Los datos históricos utilizados fueron aquellos informados en los estudios de línea (i.e. Junio, Julio, Agosto, Octubre, Noviembre y Diciembre de 1995 y Enero y Febrero de 1996) y de los monitoreos de la etapa de construcción de CELCO (Septiembre del 2002 y Marzo y Septiembre del 2003). Con este objetivo se realizaron análisis univariados (i.e. análisis de varianza de una vía) y multivariados (i.e. análisis de escalamiento multidimensional).

Los análisis de varianza se realizaron entre el grupo de datos pertenecientes a la línea de base histórica (i.e. línea de base y monitoreo etapa de construcción de CELCO) versus los datos obtenidos durante Enero del 2005. Los datos faltantes fueron excluidos del análisis, mientras que para aquellos expresados como valores menores al límite de detección se utilizó el valor de dicho límite.

El análisis de escalamiento multidimensional se basó en una matriz de similitud calculada mediante el coeficiente de Bray-Curtis, previa transformación mediante la raíz cuadrada, realizándose con el paquete computacional PRIMER (Carr, 1997). Debido al hecho que algunos de los muestreos de la línea de base histórica presentaban ausencia de algunas mediciones para algunas de las variables, los análisis de escalamiento multidimensional se realizaron de tres diferentes formas;

- i) eliminación de las variables sin datos, en este caso la variable sin valores para alguno de los muestreos fue eliminada del análisis,
- ii) eliminación del muestreo, en este caso el muestro fue eliminado del análisis,
- iii) reemplazo del dato faltante por el promedio histórico de dicha variable.

Además de las comparaciones históricas arriba señaladas, se realizaron comparaciones entre el muestreo realizado en Enero del 2005 con aquellos datos provenientes de los monitoreos durante el funcionamiento de CELCO (i.e. muestreos de Abril a Diciembre del 2004).

Con el objetivo de comparar las eventuales diferencias entre la calidad del agua del período 2004-2005 (i.e. datos de monitoreo CELCO y datos de Enero del 2005 recolectados por la UACH) con las características fisicoquímicas de la línea de base histórica (i.e. datos 1995-96 y 2002-03) se realizaron análisis de varianza y de escalamiento multidimensional. Las metodologías y manejo de los datos fue el mismo que el explicado más arriba.

6.4. Resultados

6.4.1. Situación actual

6.4.1.1. Características de la calidad de las aguas del río Cruces

Análisis de muestras puntuales

Los valores de los muestreos puntuales (i.e. muestras cada 1 hora, durante un ciclo de 24 horas) de temperatura, pH, conductividad y concentración de Oxígeno Disuelto en las aguas superficiales y de fondo de las estaciones 1a, 1b y 2 y en las aguas superficiales, medio y fondo de la estación 3 se presentan en Tablas de Anexo 2.

La temperatura del agua presentó una alta variabilidad en todos los sitios y profundidades muestreadas con diferencias de más de 5 °C entre los valores mínimos y máximos de una misma profundidad y sitio (ver Tablas en Anexo 2). La variabilidad horaria de la temperatura se presenta en la Figura 7.

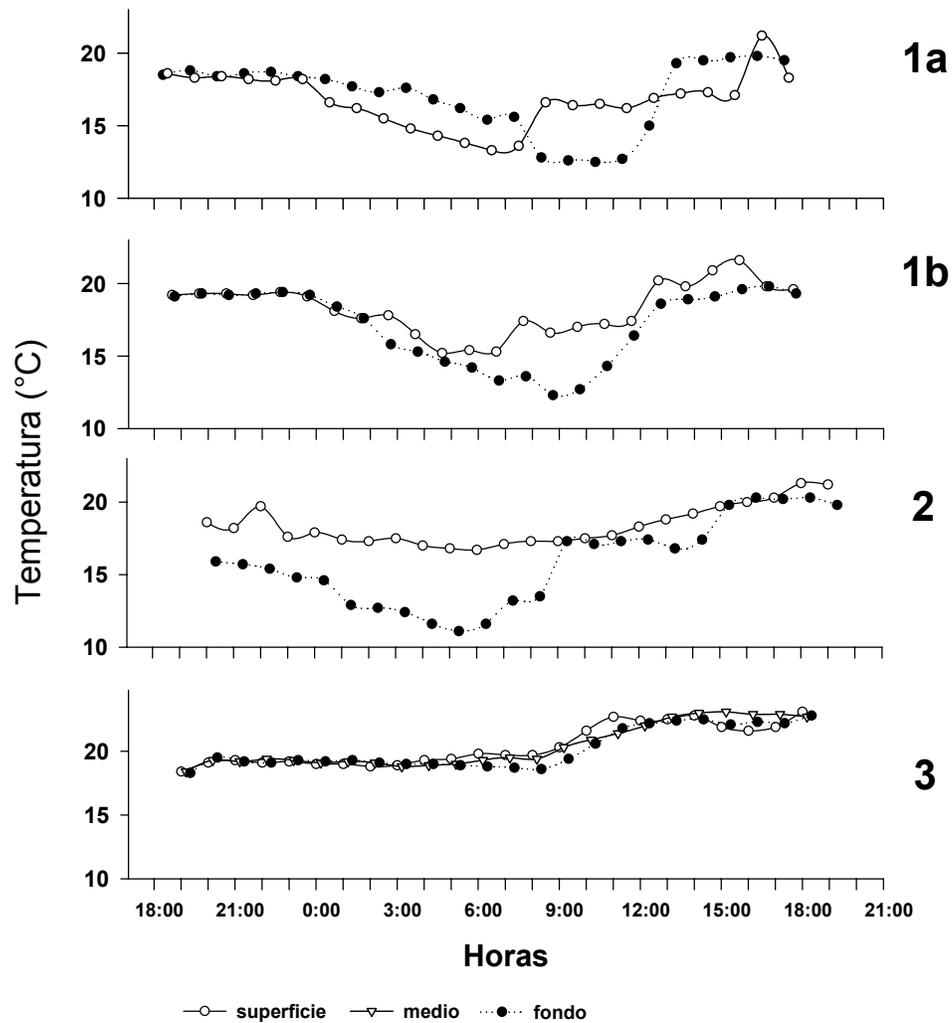


Figura 7. Variabilidad horaria de la temperatura en las aguas superficiales y de fondo de las estaciones 1a, 1b y 2 y de las aguas superficiales, medio y fondo de la estación 3.

En la estación 1a, la temperatura superficial fue similar a la del fondo sólo al inicio del ciclo de muestreo (i.e. entre las 18:30 y las 23:30 hr), con valores cercanos a los 18 °C. Entre los muestreos de las 00:30 y 7:30 hr, la temperatura superficial fue al menos 2 °C mas baja que la del fondo, mientras que entre las 8:30 y 12:30 hr fue al menos 3.5 °C más alta (Fig. 7). Después de esas mediciones, la temperatura superficial se mantuvo entre 17 y 21.2 °C, mientras que la del fondo se mantuvo entre los 19 y 20 °C (Fig. 7). En la estación 1b, la temperatura superficial y de fondo fueron relativamente similares durante los muestreos realizados entre las 18:00 y las 6:00 hr (i.e. entre 14.2 y 19.4 °C), mientras que entre las 6:40 y 10:40 hr la temperatura superficial fue alrededor de 4 °C

mas alta (Fig. 7). Después de esos muestreos, la temperatura entre ambas profundidades fue relativamente similar, con valores entre 16.4 y 21.6 °C (Fig. 7). En la estación 2, la temperatura superficial fue mas alta que las del fondo (diferencias entre 2 y 5° C) entre las 19:00 y 8:00 hr (Fig. 7). Después de las 9:00 hr y hasta el final del ciclo, ambas temperaturas fueron relativamente similares (temperatura entre los 16.8 y 21.3 °C) (Fig. 7). Las aguas de la estación 3 fueron las que presentaron las menores diferencias de temperatura entre las tres profundidades muestreadas (i.e. superficie, medio y fondo). Entre las 19:00 y 8:00 hr, la temperatura varió entre los 18 y 20° C, mientras que entre las 10:00 y 18:00 hr varió entre los 20 y 23° C (Fig. 7).

El pH de las aguas de las estaciones muestreadas varió entre 6.42 y 7.56 (ver tablas de Anexo 2). La variabilidad horaria de esos valores de pH se presenta en la Figura 8.

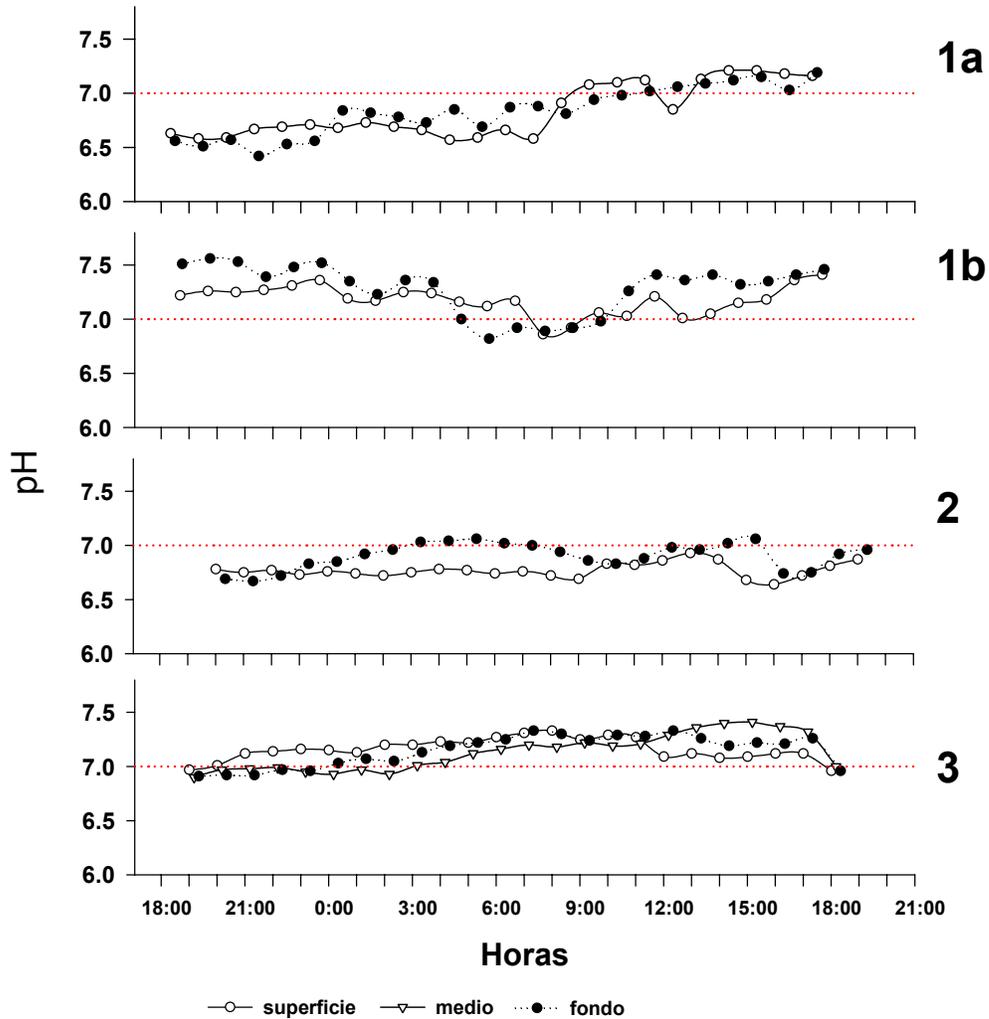


Figura 8. Variabilidad horaria del pH en las aguas superficiales y de fondo de las estaciones 1a, 1b y 2 y de las aguas superficiales, medio y fondo de la estación 3.

El pH en las aguas de la estación 1a fue relativamente similar entre ambas profundidades, variando entre 6.42 y 7.21 (Fig. 8). En ambas profundidades se observó un aumento paulatino de los valores de pH desde el inicio del ciclo de muestreo (con valores alrededor de 6.5) hacia el final del mismo (valores superiores a 7.0). El pH de las aguas de la estación 1b, presentó valores entre 6.86 y 7.18 (superficie) y entre 6.82 y 7.28 (fondo) (Fig. 8). El pH de las aguas superficiales presentó valores menores a 7.0 sólo durante los muestreos de las 7:40 y 8:40 hr. A su vez en las aguas del fondo valores menores a 7.0 se registraron entre los muestreos de las 5:45 y 9:45 hr (Fig. 8). En la

estación 2, el pH de las aguas superficiales estuvo bajo 7.0 durante todo el ciclo de muestreo, con valores entre 6.64 y 6.96, mientras que en las aguas del fondo presentó valores entre 6.67 y 7.06 (Fig. 8). Las aguas de la estación 3, presentaron un pH relativamente alto en relación al registrado en las estaciones 1a y 2 y similar al de la estación 1b, no mostrando mayores diferencias entre las tres profundidades muestreadas. Esta variable presentó valores entre 6.96 y 7.33 (aguas superficiales), 6.90 y 7.13 (profundidad media) y entre 6.91 y 7.33 (aguas de fondo) (Fig. 8).

La variabilidad horaria de la conductividad del agua en las cuatro estaciones muestreadas se muestra en la Figura 9. En general, en todas las profundidades de las estaciones muestreadas se observó muy poca variabilidad horaria de la conductividad, sólo en las aguas de la estación 1b se presentaron diferencias de la conductividad de las aguas superficiales y del fondo (Figura 9 y Tablas de Anexo 2).

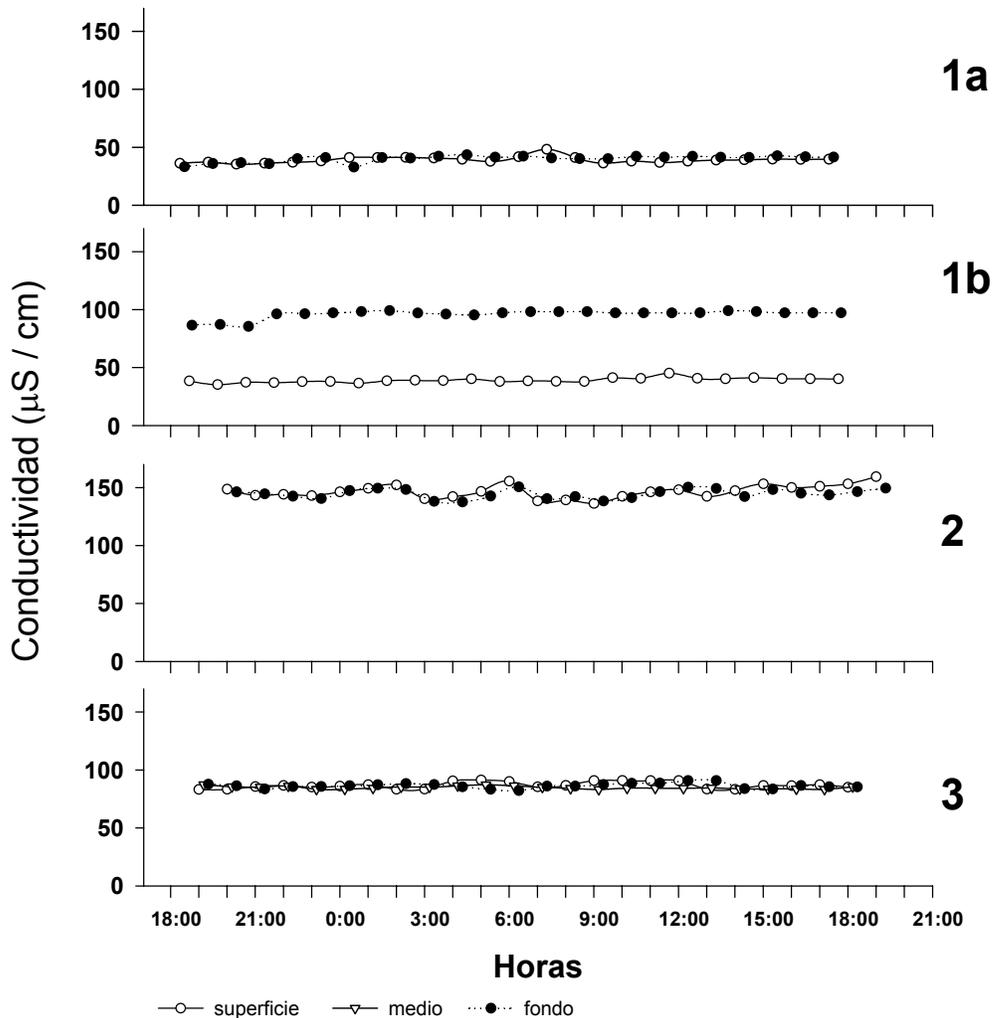


Figura 9. Variabilidad horaria de la Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en las aguas superficiales y de fondo de las estaciones 1a, 1b y 2 y de las aguas superficiales, medio y fondo de la estación 3.

En la estación 1a, la conductividad en la superficie varió entre 32.9 y 43.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en el fondo varió entre 35.30 y 48.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 9). En la estación 1b, la conductividad de las aguas superficiales fue notoriamente menor que la del fondo, con valores que variaron entre 35.2 y 45.10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y entre 85.40 y 99.10 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente (Fig. 9). Las aguas de la estación 2 fueron las que en general presentaron la mayor conductividad a lo largo de todo el período de estudio. En esta estación la conductividad varió entre 136.10 y 159.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la superficie y entre 137.60 y 150.60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el fondo (Fig. 9). La conductividad de las aguas de la estación

3, no presentó mayor variabilidad horaria, además no se observaron mayores diferencias entre las tres profundidades muestreadas. Los valores de conductividad del agua en esta estación varió entre 83.10 y 91.20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la superficie, entre 83.20 y 87.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a una profundidad media y entre 82.2 y 90.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aguas del fondo (Fig. 9).

La concentración de Oxígeno Disuelto no presentó mayor variabilidad horaria en las cuatro estaciones muestreadas (Fig. 10). Tampoco se presentaron mayores diferencias entre la concentración de Oxígeno en aguas superficiales y de fondo de las estaciones 1a, 1b, y 2, sólo en la estación 3 la concentración de Oxígeno Disuelto fue notoriamente menor en las aguas superficiales (Fig. 10).

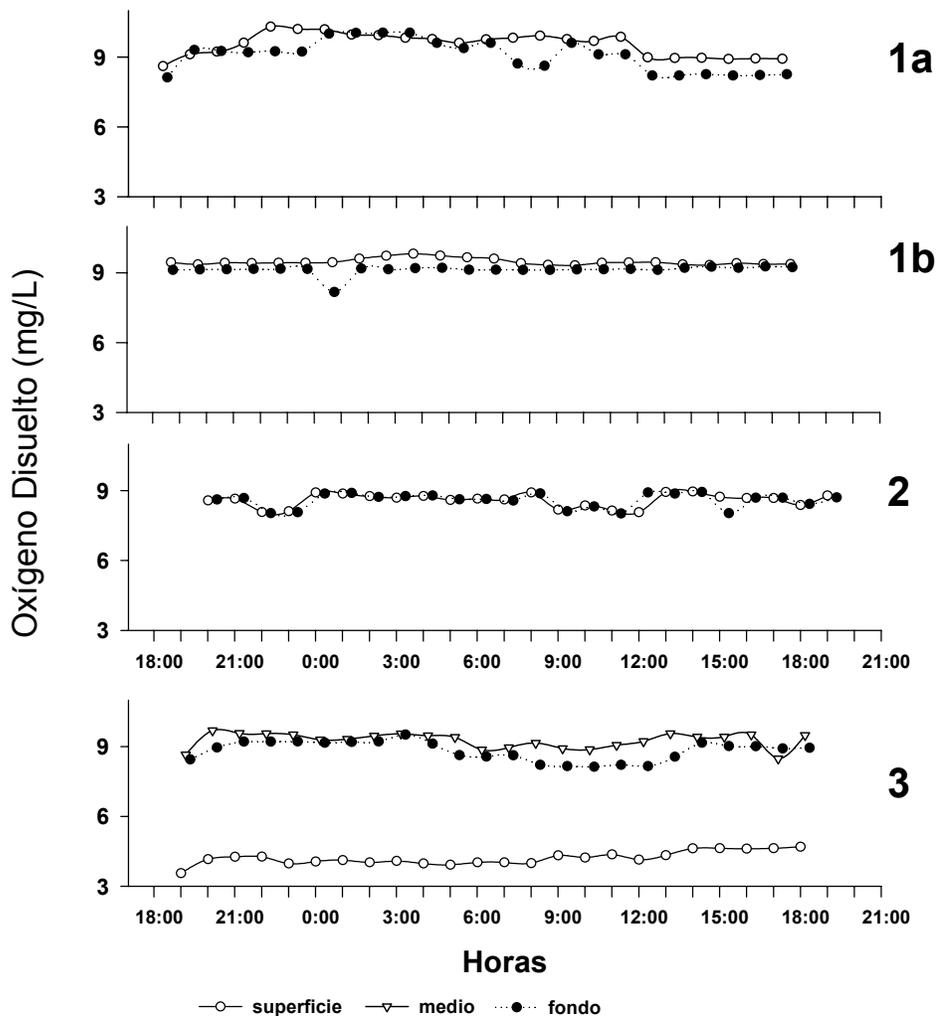


Figura 10. Variabilidad horaria de la concentración de Oxígeno disuelto (mg/L) en las aguas superficiales y de fondo de las estaciones 1a, 1b y 2 y de las aguas superficiales, medio y fondo de la estación 3.

En la estación 1a, la concentración de Oxígeno Disuelto fluctuó entre 8.13 y 10.05 mg/L en aguas superficiales y entre 8.61 y 10.31 mg/L en aguas del fondo. En la estación 1b, la concentración de Oxígeno Disuelto en general presentó la menor variabilidad horaria, con valores que entre 9.32 y 9.82 mg/L en aguas superficiales y entre 8.17 y 9.27 mg/L en aguas del fondo (Fig. 10). En la estación 2, la concentración de Oxígeno Disuelto en las aguas superficiales varió entre 8.07 y 8.96 mg/L y entre 8.02 y 8.94 en aguas del fondo (Fig. 10). Como fue mencionado, las aguas de la estación 3 fueron las que presentaron las mayores diferencias en la concentración de Oxígeno Disuelto entre las tres profundidades muestreadas. En aguas superficiales, la concentración Oxígeno Disuelto fue relativamente mas baja, con valores entre 3.56 y 4.69 mg/L. En contraste, la concentración de Oxígeno Disuelto en las aguas medias varió entre 8.48 y 9.69 mg/L y en las aguas de fondo varió entre 8.13 y 9.51 mg/L, respectivamente (Fig. 10).

Con el objeto de realizar comparaciones estadísticas entre las cuatro estaciones muestreadas, los datos fueron agrupados considerando todas las mediciones realizadas en una misma estación (i.e. $n = 28$ para las estaciones 1a, 1b y 2 y $n = 36$ para la estación 3). Los resultados de esos análisis se resumen en la Tabla 21. Todas las variables mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las cuatro estaciones analizadas. La temperatura de la estación 3, fue significativamente mayor ($P < 0.05$) que la de las estaciones 1a, 1b y 2, las que no variaron significativamente entre sí ($P > 0.05$) (Tabla 21). El pH de las estaciones 1a y 2 (promedios de 6.83 y 6.84, respectivamente) fue significativamente menor ($P < 0.05$) que el de las estaciones 1b y 3 (promedios de 7.23 y 7.14, respectivamente) (Tabla 21). La conductividad fue significativamente diferente entre todas las estaciones muestreadas, la mayor conductividad fue de 145.61 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación 2 y la menor fue de 39.61 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación 1a (Tabla 21). Las aguas de la estación 3, presentaron concentraciones significativamente menores ($P < 0.059$) de Oxígeno Disuelto que las de las estaciones 1a, 1b y 2, las que no variaron significativamente entre sí (Tabla 21).

Tabla 21. Promedios de temperatura (°C), pH, conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), y concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) en las aguas de las estaciones 1a, 1b, 2 y 3. Los valores corresponden a los promedios de todas las mediciones realizadas en cada estación (i.e. $n = 48$ en las estaciones 1a, 1b y 2, y $n = 72$ en la estación 3) con la desviación estándar en paréntesis. Se entregan además los valores de F y P resultantes de los análisis de varianza de una vía y los resultados del test a posteriori "Tukey HSD".

	Temperatura	pH	Conductividad	Oxígeno Disuelto
estación 1a	16.90 (2.15)	6.83 (0.23)	39.61 (2.85)	9.306 (0.629)
estación 1b	17.67 (2.28)	7.23 (0.19)	67.52 (28.89)	9.301 (0.248)
estación 2	17.07 (2.64)	6.84 (0.12)	145.61 (5.02)	8.585 (0.298)
estación 3	20.33 (1.59)	7.14 (0.14)	85.95 (2.34)	7.429 (2.327)
F	35.13	72.72	497	24.49
P	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Tuckey HSD	1a = 1b = 2 < 3	1 = 2 < 3 = 1b	1a < 1b < 3 < 2	1a = 1b = 2 > 3

Análisis de muestras compuestas

Las concentraciones de metales pesados en aguas de la superficie y del fondo de las estaciones 1a, 1b y 2 y en las aguas de la superficie, profundidad media y fondo de la estación 3 se presentan en tablas de Anexo 2.

De los 9 metales analizados, sólo el Hierro soluble, Manganeso, Zinc y Cobre fueron detectados en todas las muestras analizadas, el Cromo no fue detectado en ninguna de ellas (límite de detección 0.002 mg/L), el Níquel sólo en dos muestras de la estación 3 (valores de 0.003 y 0.021 mg/L , límite de detección 0.002 mg/L) y el Mercurio en una muestra de la estación 1a y en una muestra de la estación 2 (límite de detección 0.0006 mg/L). El Plomo fue detectado (límite de detección 0.0008 mg/L) en muestras de aguas superficiales de la estación 1a y 1b (valores entre 0.0008 y 0.001 mg/L) y en cinco muestras de la estación 3 (valores entre 0.001 y 0.007 mg/L). El Cadmio no fue detectado en las aguas de la estación 3 (límite de detección 0.0001 mg/L), siendo detectado en las dos muestras de aguas de fondo de las estación 1a (valores de 0.001 y 0.002 mg/L) y de las estación 2 (valor de 0.320 mg/L) y en todas las muestras ($n=4$) de la estación 1b con valores entre 0.0004 y 0.0062 mg/L (ver Tablas de Anexo 2).

Los metales pesados con mayores concentraciones y que fueron detectados en todas las muestras analizadas fueron el Hierro soluble, Manganeseo, Zinc y Cobre (ver Tablas en Anexo 3). Con el objetivo de analizar y comparar las concentraciones de estos cuatro metales los datos fueron promediados (i.e. $n = 4$ para las estaciones 1a, 1b y 2 y $n = 6$ en la estación 3), realizándose los análisis de varianza correspondiente (en estos análisis no se consideraron aquellos metales que aparecieron en forma esporádica). Los valores promedios del Hierro soluble, Manganeseo, Zinc y Cobre se presentan en la Tabla 22 y Figura 11.

Tabla 22. Concentración de metales pesados (mg/L) en las aguas de las estaciones 1a, 1b, 2 y 3. Los valores corresponden a promedios ($n = 4$ en las estaciones 1a, 1b y 2 y $n = 6$ en estación 3) con la desviación estándar en paréntesis. Se entregan los valores de F y P resultantes de los análisis de varianza de una vía y los del test a posteriori "Tukey HSD".

	Hierro soluble	Manganeseo	Zinc	Cobre
estación 1a	0.146 (0.161)	0.015 (0.010)	0.007 (0.003)	0.014 (0.006)
estación 1b	0.373 (0.069)	0.051 (0.020)	0.025 (0.004)	0.015 (0.012)
estación 2	0.318 (0.010)	0.007 (0.004)	0.011 (0.009)	0.010 (0.001)
estación 3	0.333 (0.033)	0.042 (0.005)	0.015 (0.007)	0.019 (0.013)
F	5.71	16.24	6.59	1.17
P	0.009	< 0.001	0.005	0.355
Tukey HSD	1a < 1b = 2 = 3	1a = 2 < 1b = 3	1b > 1a = 2 = 3	1a = 1b = 2 = 3

De los metales pesados analizados, el Hierro soluble fue el que presentó las mayores concentraciones promedios (entre 0.146 y 373 mg/L), seguido del Manganeseo (entre 0.007 y 0.015 mg/L), Zinc (entre 0.007 y 0.025 mg/L) y Cobre (entre 0.010 y 0.017 mg/L) (Fig. 11 y Tabla 22). La concentración promedio de Hierro soluble en la estación 1a (i.e. 0.146 mg/L) fue significativamente menor ($P < 0.05$) a la de las estaciones 1b, 2 y 3, con concentraciones de 0.373, 0.318 y 0.333 mg/L, respectivamente (Fig. 11 y Tabla 22). La concentración de Manganeseo en las aguas de las estaciones 1a y 2 fueron significativamente menores ($P < 0.05$) que la de las aguas de las estaciones 1b y 3 (Fig. 11 y Tabla 22). La concentración de Zinc en las aguas de la estación 1a (i.e. concentración promedio de 0.007 mg/L) fue significativamente menor que las de las estaciones 1b, 2, y 3 (concentraciones promedios de 0.025 mg/L en la estación 1b y 0.011 mg/L en las

estaciones 2 y 3) (Fig. 11 y Tabla 22). Las concentraciones promedio de Cobre en las aguas de las estaciones 1a, 1b, 2, y 3 fueron de 0.014, 0.015, 0.010 y 0.017 mg/L, respectivamente, no detectándose diferencias significativas ($P > 0.005$) entre ellas (Fig. 11 y Tabla 22).

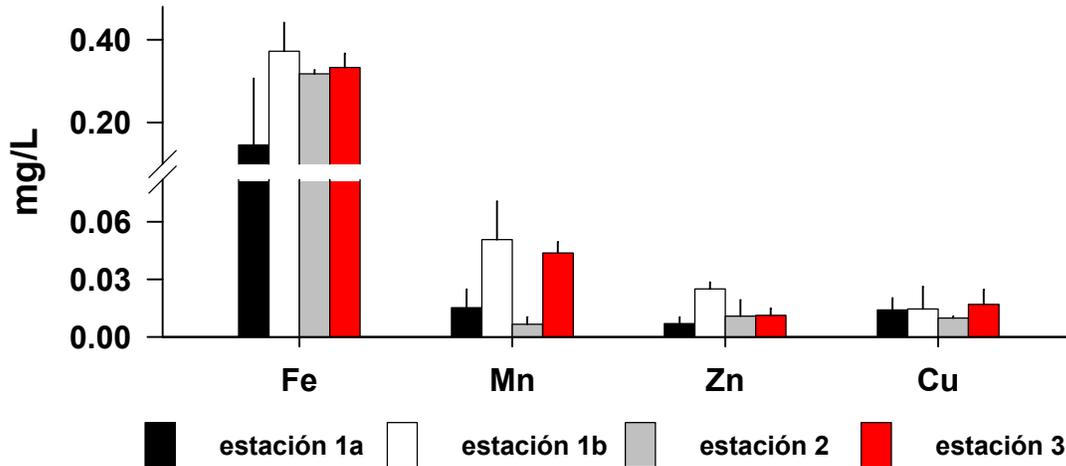


Figura 11. Concentraciones promedio de Hierro soluble (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) en las aguas de las cuatro estaciones de muestreo. Los valores son promedios ($n = 4$ en las estaciones 1a, 1b, 2 y $n = 6$ en la estación 3) mas una desviación estándar.

Los valores de Nitrógeno Kjeldahl, Nitratos, Amonio, Fósforo total y soluble, en las aguas de las cuatro estaciones muestreadas se presentan en Tablas de Anexo 2. Los valores promedios de esas concentraciones (i.e. promedios de todas las réplicas y profundidades por estación, $n = 4$ para estaciones 1a, 1b y 2, $n = 6$ para la estación 3) se presentan en Figura 12 y Tabla 23.

Tabla 23. Concentraciones promedios de Nitrógeno Kjeldahl, Nitratos, Amonio, Fósforo total y soluble (mg/L) en las cuatro estaciones de muestreo. Los valores corresponden a promedios (n = 4 en estaciones 1a, 1b y 2 y n = 6 en estación 3) con la desviación estándar en paréntesis. Se entregan los valores de F y P resultantes de los análisis de varianza de una vía y los del test a posteriori "Tukey HSD".

	Nitrógeno Kjeldahl	Nitrato	Amonio	Fósforo total	Fósforo soluble
estación 1a	0.125 (0.040)	0.059 (0.003)	0.029 (0.006)	0.035 (0.006)	0.011 (0.004)
estación 1b	0.055 (0.019)	0.074 (0.037)	0.036 (0.027)	0.030 (0.000)	0.008 (0.001)
estación 2	0.118 (0.039)	0.062 (0.021)	0.020 (0.009)	0.055 (0.029)	0.028 (0.018)
estación 3	0.268 (0.039)	0.082 (0.017)	0.057 (0.029)	0.045 (0.016)	0.023 (0.012)
F	34.26	1.06	1.95	1.77	5.23
P	< 0.001	0.399	0.167	0.199	0.013
Tukey HSD	1b < 1a = 2 < 3	1a = 1b = 2 = 3	1a = 1b = 2 = 3	1 = 2 = 3 = 4	1 = 2 < 3 = 4

La concentración promedio de Nitrógeno Kjeldahl en las aguas de la estación 1b fue de 0.055 mg/L, siendo significativamente menor ($P < 0.05$) que la del resto de las estaciones estudiadas (Fig. 12 y Tabla 23). La concentración de Nitrógeno Kjeldahl en las aguas de las estaciones 1a y 2 fueron de 0.125 y 0.118 mg/L, no difiriendo significativamente entre sí ($P > 0.05$), pero siendo significativamente menores que las medidas en la estación 3 (Fig. 12 y Tabla 23). Las concentraciones de Nitratos, Amonio y Fósforo total no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las cuatro estaciones estudiadas (Fig. 12 y Tabla 23). Estas variables presentaron valores entre 0.059 y 0.082 mg/L para los Nitratos (en estaciones 1a y 3, respectivamente), entre 0.020 y 0.057 mg/L para el Amonio (estaciones 2 y 3 respectivamente) y entre 0.03 y 0.055 mg/L para el Fósforo total (estaciones 1b y 2, respectivamente). La concentración de Fósforo soluble en las aguas de las estaciones 1a y 1b no difirieron significativamente entre sí ($P < 0.05$), pero fueron significativamente menores ($P < 0.05$) que las encontradas en las estaciones 2 y 3 (concentraciones de 0.028 y 0.023 mg/L, respectivamente) (Fig. 12 y Tabla 23).

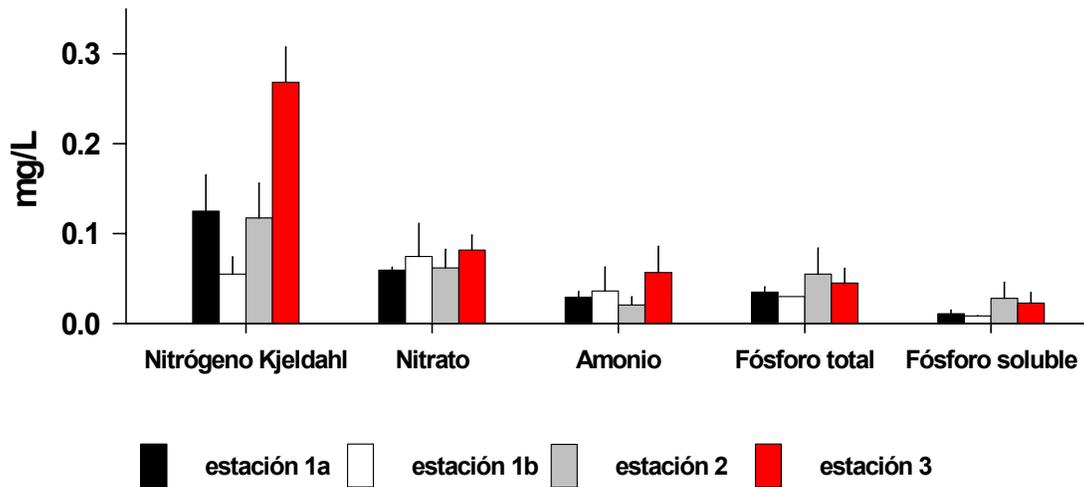


Figura 12 Concentraciones promedio de Nitrógeno Kjeldahl, Nitratos, Amonio, Fósforo total y soluble (mg/L) en las aguas de las cuatro estaciones de muestreo. Los valores son promedios ($n = 4$ en las estaciones 1a, 1b, 2 y $n = 6$ en la estación 3) mas una desviación estándar.

Los valores de Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno (i.e. DBO_5 y DQO) en las aguas de las cuatro estaciones de muestreo se presentan en Tablas de Anexo 2. Los valores promedios de la DBO_5 y de la DQO (i.e. promedios de todas las réplicas y profundidades por estación, $n = 4$ para estaciones 1a, 1b y 2, $n = 6$ para la estación 3) se presentan en Figura 13 y Tabla 24.

Tabla 24. Promedios de la Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno (mg/L) en las aguas de las cuatro estaciones de muestreo. Los valores corresponden a promedios ($n = 4$ en las estaciones 1a, 1b, 2 y $n = 6$ en la estación 3) con la desviación estándar en paréntesis. Se entregan los valores de F y P resultantes de los análisis de varianza de una vía y los del test a posteriori "Tukey HSD".

	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	Demanda Química de Oxígeno DQO
estación 1a	3.00 (0.71)	14.25 (1.89)
estación 1b	7.80 (7.04)	29.50 (11.47)
estación 2	7.68 (6.38)	25.75 (7.09)
estación 3	5.43 (1.58)	11.00 (3.63)
F	0.56	11.23
P	0.687	0.001
Tukey HSD	1a = 1b = 2 = 3	1a = 3 < 1b = 2

La Demanda Bioquímica de Oxígeno no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$) entre cuatro estaciones de muestreo (Tabla 24). Los promedios de la Demanda Bioquímica de Oxígeno variaron entre 3.00 mg/L en la estación 1a y 7.80 en la estación 1b (Fig. 13 y Tabla 24). La Demanda Química de Oxígeno en las aguas de las estaciones 1b y 2 (promedios de 29.50 y 25.75 mg/L) fue significativamente mas alta que la de las estaciones 1a y 3 (promedios de 14.25 y 11.00 mg/L), las que no difirieron entre sí (Fig. 13 y Tabla 24).

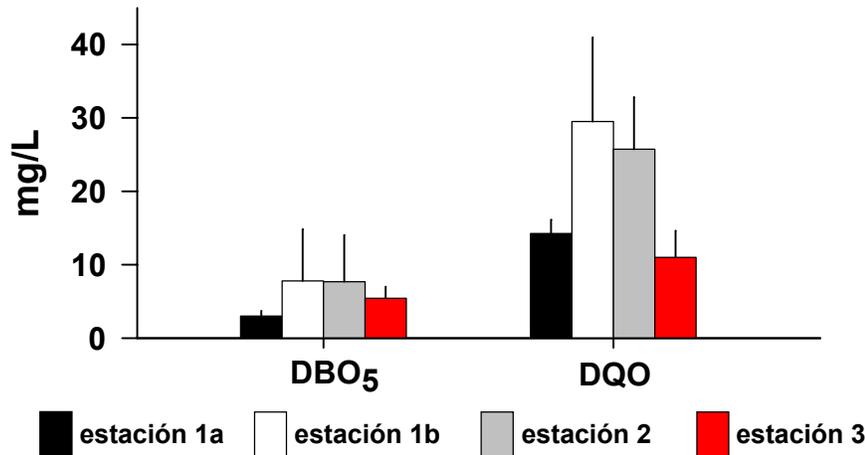


Figura 13. Promedios de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces. Los valores son promedios (n = 4 en las estaciones 1a, 1b, 2 y n = 6 en la estación 3) mas una desviación estándar.

Compuestos organofosforados, fenólicos y organoclorados (distintos a los AOX), no fueron detectados en ninguna de las estaciones de muestreo.

Los AOX (compuestos organo halogenados adsorbibles) fueron detectados en bajas concentraciones en todas las muestras analizadas, presentando valores promedios de 0.076 mg/L en la estación 1a, e incrementándose a 0.234 mg/L en la estación 1b y a 0.547 mg/L en la estación 2, luego descendiendo a 0.128 mg/L en la estación 3.

Los valores de las concentraciones de Sólidos Suspendidos y Disueltos (fracciones orgánica, inorgánica y total) se presentan en Tablas de Anexo 2. Los valores promedios de esas concentraciones (i.e. promedios de todas las réplicas y profundidades por estación; n = 4 para estaciones 1a, 1b y 2 y n = 6 para la estación 3) se presentan en Figura 14 y Tabla 25.

Tabla 25. Concentraciones promedios de Sólidos Suspendidos y Disueltos (mg/L), fracciones orgánica, inorgánica y total en las aguas de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces. Los valores corresponden a promedios (n = 4 en estaciones 1a, 1b y 2 y n = 6 en estación 3) con la desviación estándar en paréntesis. Se entregan los valores de F y P resultantes de los análisis de varianza de una vía y los del test a posteriori "Tukey HSD".

	Sólidos Suspendidos			Sólidos Disueltos		
	fracción orgánica	fracción inorgánica	total	fracción orgánica	fracción inorgánica	Total
estación 1a	1.95 (0.49)	2.10 (0.57)	4.05 (0.07)	27.00 (15.56)	34.00 (0.00)	61.00 (15.56)
estación 1b	2.61 (0.69)	2.90 (0.57)	5.51 (1.26)	6.00 (5.66)	176.00 (149.91)	182.00 (155.56)
estación 2	2.00 (0.53)	3.03 (0.75)	5.03 (0.65)	16.00 (18.40)	75.00 (21.07)	91.00 (30.40)
estación 3	4.71 (2.34)	5.12 (1.22)	9.83 (3.46)	9.67 (7.20)	72.33 (15.51)	82.00 (18.59)
F	3.56	6.93	6.44	1.27	4.63	1.63
P	0.055	0.083	0.011	0.337	0.028	0.244
Tukey HSD	1a = 1b = 2 = 3	1a = 1b = 2 = 3	1a = 1b = 2 < 3	1a = 1b = 2 = 3	1a < 1b = 2 = 3	1a = 1b = 2 = 3

Las concentraciones de ambas fracciones de Sólidos Suspendidos (i.e. fracciones orgánica e inorgánica) no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las aguas de las cuatro estaciones muestreadas. La fracción orgánica e inorgánica de los Sólidos Suspendidos presentó valores extremos de 1.95 y 4.71 mg/L (fracción orgánica) y de 2.10 y 5.12 mg/L (fracción inorgánica), en ambos casos las menores concentraciones se presentaron en la estación 1a y las mayores en la estación 3 (Fig. 14 y Tabla 25). La concentración de Sólidos Suspendidos totales (i.e. orgánicos + inorgánicos) en las aguas de la estación 3 (i.e. 9.83 mg/L) fue significativamente menor ($P < 0.05$) que la del resto de las estaciones, las que no difirieron significativamente entre sí ($P > 0.05$) (Fig. 14 y Tabla 25). La concentración de Sólidos Disueltos orgánicos, no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las cuatro estaciones muestreadas, La concentración de Sólidos Disueltos inorgánicos de la estación 1b (i.e. 176.00 mg/L) fue significativamente mayor ($P < 0.05$) que la de las estaciones 1a, 2 y 3 (concentraciones de 34.00, 75.00 y 72.33 mg/L, respectivamente), las que no difirieron significativamente entre sí ($P > 0.05$) (Fig. 14 y Tabla 25). La concentración de Sólidos Disueltos totales varió entre 61.00 y 182 mg/L en las estaciones 1a y 1b, respectivamente. No registrándose diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las cuatro estaciones muestreadas (Fig. 14 y Tabla 25).

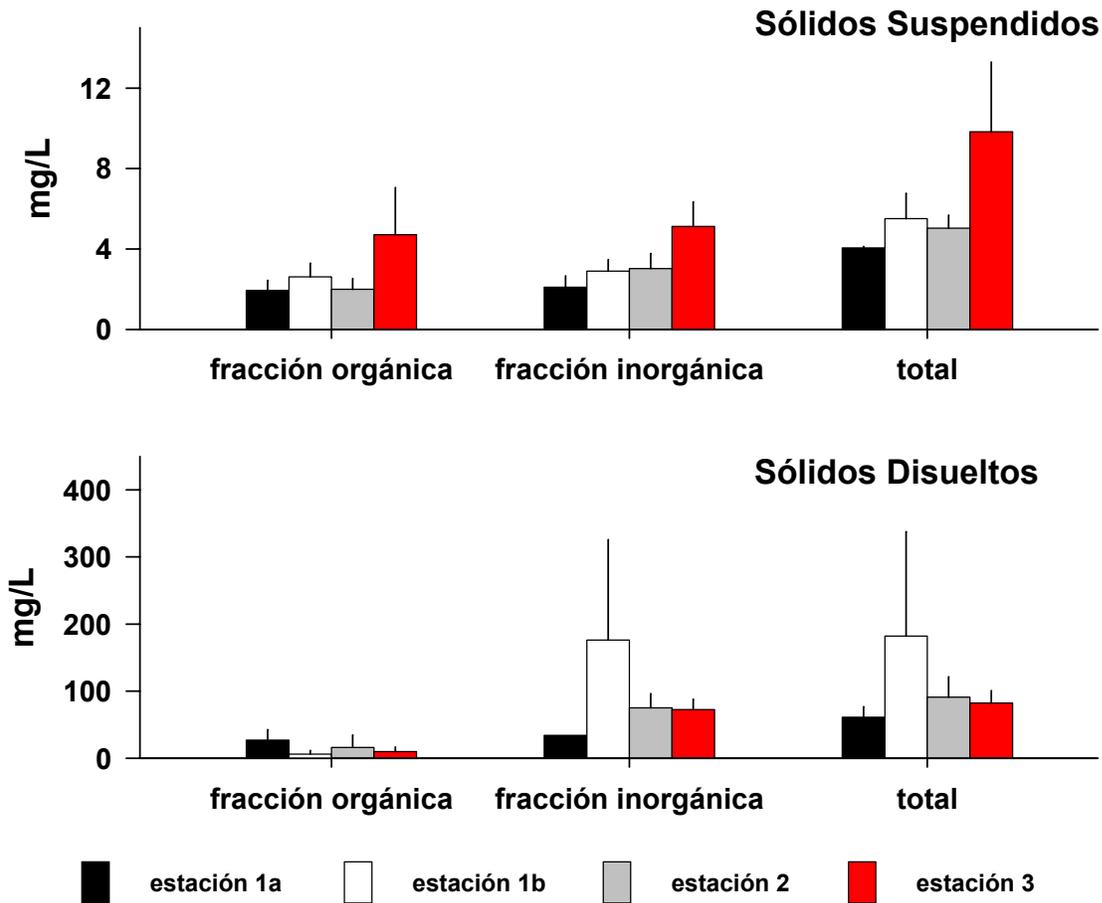


Figura 14. Promedios de la concentración de Sólidos Suspendidos y Disueltos (fracciones orgánica, inorgánica y total) en las aguas de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces. Los valores son promedios ($n = 4$ en las estaciones 1a, 1b, 2 y $n = 6$ en la estación 3) mas una desviación estándar.

Análisis de características de fondo y superficie entre estaciones

Además de los análisis especificados arriba, se analizaron las eventuales diferencias entre superficie y fondo entre estaciones (Tabla 26). Se decidió comparar los parámetros temperatura y Oxígeno Disuelto sólo para la estación 1a y estación 1b, ya que el muestreo fue simultáneo el día 5 a 6 de Enero del 2005; mientras que la estación 2 (Rucaco, 6 a 7 Enero del 2005) y la estación 3 (Ingreso Humedal, 3 a 4 Enero del 2005)

sólo permiten el análisis de parámetros de menor variabilidad o dependencia de condiciones ambientales.

Tabla 26. Temperatura, pH, conductividad y concentración de Oxígeno Disuelto en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces. Los valores son promedios (n=24) de mediciones horarias durante un ciclo de 24 horas.

	estación 1a	estación 1b	estación 2	estación 3
Temperatura °C				
superficie	16.73	18.29	18.35	20.41
fondo	17.07	17.05	15.80	20.18
pH (†H)				
superficie	6.83	7.18	6.77	7.15
fondo	6.83	7.28	6.90	7.15
Conductividad $\mu\text{S/cm}$				
superficie	40.08	39.09	146.60	85.77
fondo	39.13	95.95	144.63	86.31
Oxígeno Disuelto mg/L				
superficie	9.07	9.47	8.59	6.74
fondo	9.54	9.13	8.58	8.82

La temperatura se mantuvo relativamente constante en las aguas de fondo entre la estación 1a y 1b, con valores de 17.07 y 17.05° C, respectivamente. Mientras que la temperatura superficial entre la estación 1a, y 1b, se vio incrementada de 16.73 a 18.29 °C (Fig. 15). El pH de fondo y superficie varió entre la estación 1a y la estación 1b, observándose constantes en la columna de agua. En la estación 1a el pH fue de 6.83 en fondo y superficie y en la estación 1b, se incrementó a 7.18 en superficie y 7.28 en fondo (Fig. 15). La conductividad en aguas no afectadas por el efluente (estación 1a) es similar en la columna de agua (fondo y superficie) con valores alrededor de 40.00 $\mu\text{S/cm}$, mientras que aguas bajo de la descarga CELCO, estación 1b, se incrementa en aguas de fondo a 95.95 $\mu\text{S/cm}$, manteniéndose constante en aguas superficiales ($\approx 40 \mu\text{S/cm}$). Este parámetro se ve fuertemente incrementado en la estación 2, Rucaco, aguas abajo de la descarga CELCO, en toda la columna de agua con valores $\approx 146 \mu\text{S/cm}$, mientras que en la estación 3, siguiente, muestra valores cercanos a $\approx 86 \mu\text{S/cm}$, (Fig. 15). La

concentración de Oxígeno no muestra variaciones entre la estación 1a y 1b, y tiende a disminuir en las siguientes estaciones, 2 y 3, específicamente en aguas de superficie (Fig. 15).

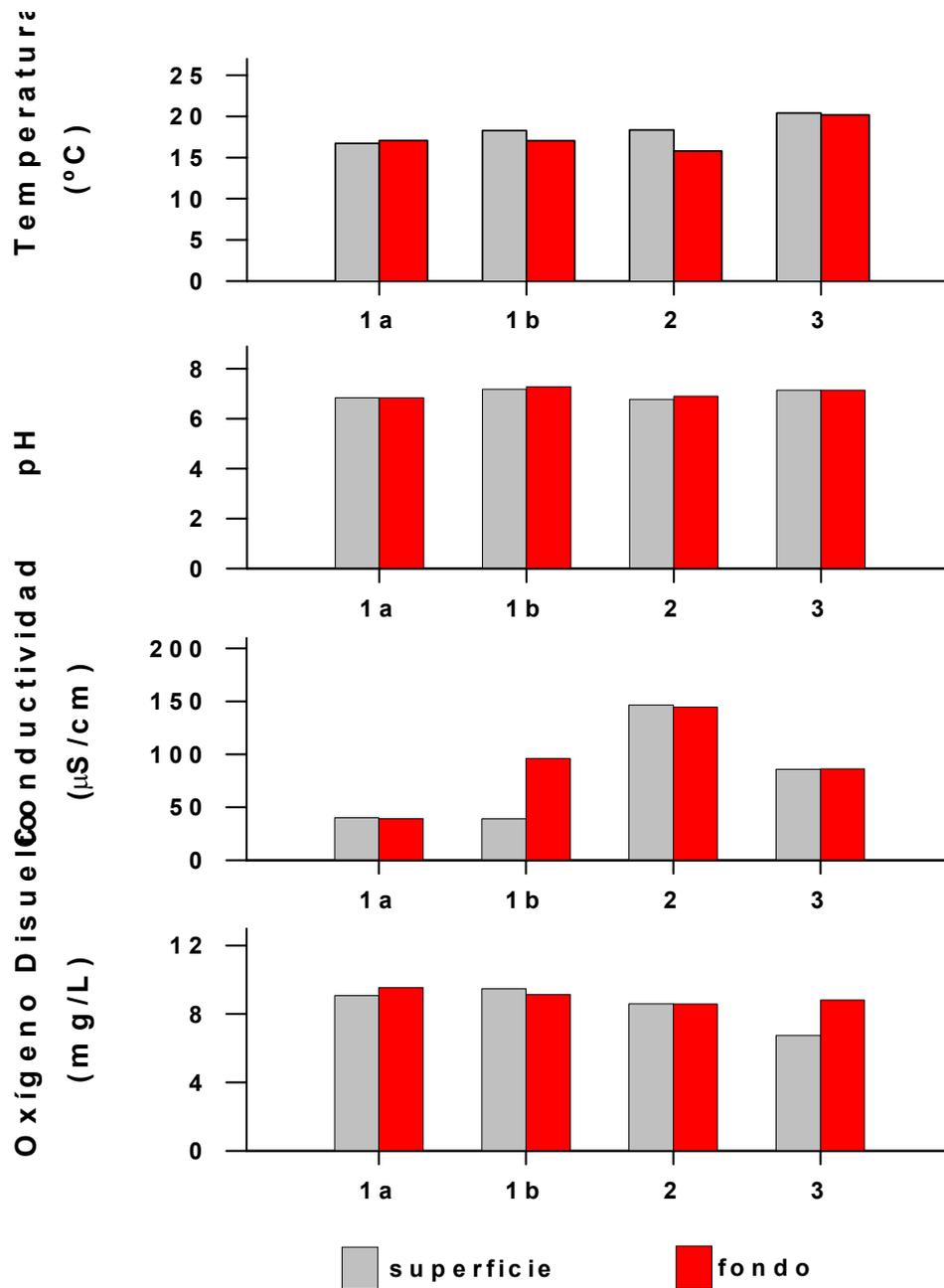


Figura 15. Temperatura, pH, conductividad y concentración de Oxígeno Disuelto en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo del río Cruces. Los valores son promedios (n=24) de mediciones horarias durante un ciclo de 24 horas.

Como se ha mencionado anteriormente, de los metales pesados analizados sólo el Hierro soluble, Manganeso, Zinc y Cobre fueron los que estuvieron presentes en todas las muestras analizadas, presentando además las mayores concentraciones. Debido a esto, se analizan en detalle sólo estos cuatro metales pesados. Las concentraciones de Hierro soluble, Manganeso, Zinc y Cobre en las aguas superficiales y de fondo de las cuatro estaciones de muestreo se presentan en la Tabla 27 y Figura 16.

Tabla 27. Concentraciones de Hierro soluble, Manganeso, Zinc y Cobre (mg/L) en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces. Los valores son promedios de dos muestras.

	estación 1a	estación 1b	Estación 2	estación 3
Hierro soluble				
superficie	0.285	0.425	0.320	0.328
fondo	0.007	0.320	0.315	0.345
Manganeso				
superficie	0.023	0.068	0.004	0.044
fondo	0.007	0.034	0.009	0.039
Zinc				
superficie	0.009	0.024	0.010	0.018
fondo	0.005	0.026	0.012	0.009
Cobre				
superficie	0.013	0.024	0.010	0.019
fondo	0.015	0.006	0.010	0.018

La concentración de Hierro soluble, entre las estaciones 1a y 1b, muestra una fuerte variación, específicamente en aguas de fondo de 0.007 mg/L (estación 1a) e incrementándose a 0.32 mg/L tras la descarga CELCO (estación 1b), manteniéndose aguas abajo en valores alrededor de 0.3 mg/L en aguas de fondo y superficie (Tabla 26 y Fig. 16). La concentración de Manganeso se ve incrementada entre las estación 1a, y 1b (i.e. en aguas de fondo de 0.007 a 0.034 mg/L y en aguas de superficie de 0.023 a 0.068 mg/L). En la estación 3, se mantienen los órdenes de magnitud de la estación 1b (Tabla 27 y Fig. 16). La concentración de Zinc se observa constante entre fondo y superficie en las estaciones 1a a 3, y sólo al ingreso del Humedal (estación 3) mostró una mayor concentración de Zn en aguas superficiales. Antes de la descarga CELCO (estación 1a), las aguas del fondo registran un valor de 0.005 mg/L y de 0.009 mg/L en superficie, incrementándose la concentración tras la descarga CELCO (estación 1b) a 0.026 mg/L Zn

en aguas de fondo y a 0.068 Zn mg/L en superficie. En la Figura 16 se observa que en la estación 2 desciende la concentración tanto en fondo como superficie, pero manteniéndose valores por sobre los registrados en la estación 1a, antes de la descarga. Mientras que al ingreso del Humedal (estación 3), si bien aumenta la concentración en aguas superficiales, se mantiene la magnitud de la concentración en la columna de agua respecto a la estación 2 (Rucaco). Para la concentración de Cobre en aguas de fondo y superficie, se mantiene dentro del orden de magnitud en todo el trayecto, antes y después de la descarga (i.e. estaciones 1a y 1b).

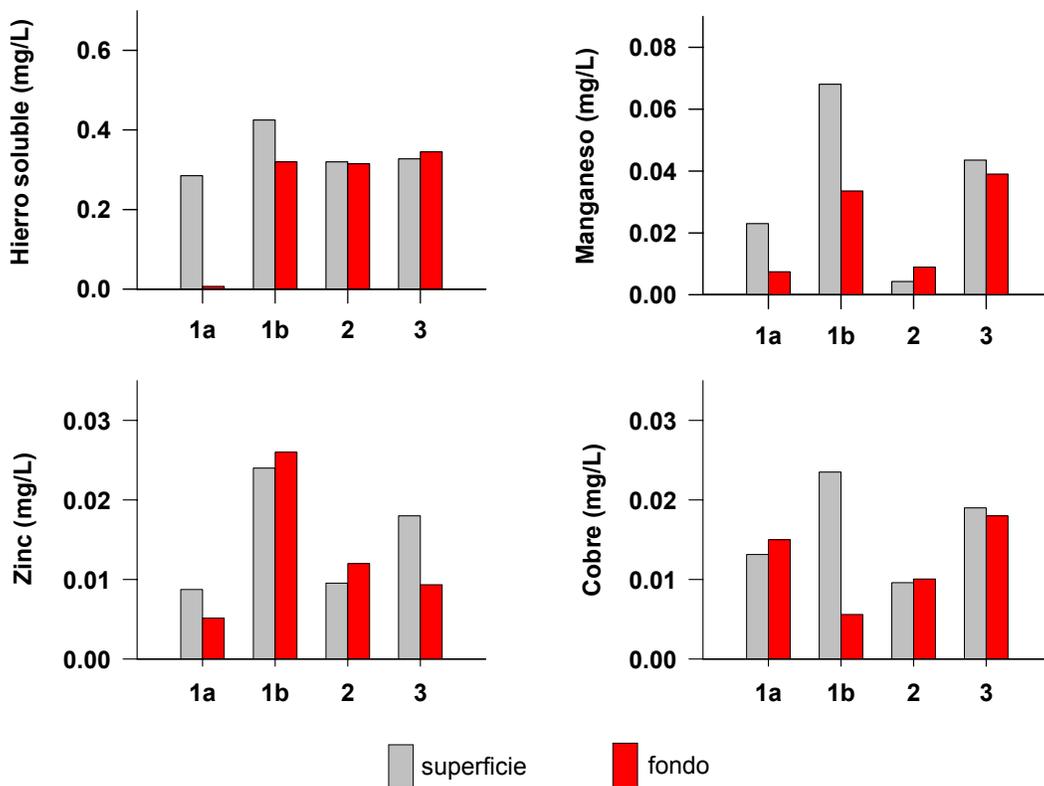


Figura 16. Concentraciones de Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre (mg/L) en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo del río cruces. Los valores son promedios de dos muestras.

Las concentraciones de Nitrógeno Kjeldahl, Nitrato, Amonio, Fósforo total y soluble, no mostraron mayores diferencias entre la estación 1a y la estación 1b (Tabla 28).

Tabla 28. Concentraciones de Nitrógeno total Kjeldahl, Nitrato, Amonio, Fósforo total y soluble en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces. Los valores son promedios de dos muestras.

	estación 1a	estación 1b	estación 2	estación 3
Nitrógeno total Kjeldahl mg/L				
superficie	0.09	0.04	0.15	0.26
fondo	0.16	0.07	0.085	0.30
Nitrato $\mu\text{g/L}$				
superficie	58.97	106.48	79.22	83.73
fondo	59.97	42.47	44.47	77.47
Amonio $\mu\text{g/L}$				
superficie	34.66	59.12	28.45	52.42
fondo	23.79	12.92	12.53	65.33
Fósforo total mg/L				
superficie	0.04	0.03	0.08	0.05
fondo	0.03	0.03	0.03	0.03
Fósforo soluble $\mu\text{g/L}$				
superficie	14.34	8.33	12.51	26.99
fondo	7.16	8.50	43.40	14.28

La concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), así como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las aguas superficiales y de fondo de las cuatro estaciones de muestreo se presenta en la Tabla 29 y en la Figura 17.

Tabla 29. Concentraciones de la Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno (mg/L) en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces. Los valores son promedios de dos muestras.

	estación 1a	estación 1b	estación 2	estación 3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)				
superficie	2.40	1.70	2.15	5.88
fondo	3.60	13.90	13.20	4.55
Demanda Química de Oxígeno (DQO)				
superficie	15.00	21.00	21.50	12.75
fondo	13.50	38.00	30.00	7.50

La concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), así como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), mostraron incrementos principalmente en aguas de fondo entre la estación 1a y la estación 1b (Tabla 29 y Figura 17). En aguas de fondo de la estación 1a, la DBO₅ fue de 3.6 mg/L y se incrementó a 13.8 mg/L en la estación 1b, manteniéndose en 13.2 mg/L en la estación 2 y disminuyendo en la estación 3 a 4.55 mg/L, pero incrementándose en superficie a 5.88 mg/L (Tabla 29 y Figura 17). Similar tendencia muestra la DQO, donde predominan las diferencias de concentración en aguas de fondo entre las estaciones, con un valor de 13.5 mg/L en la estación 1a, de 38 mg/L en la estación 1b, de 30 mg/L en la estación 2 y disminuyendo a 7.5 mg/L en la estación 3 (Tabla 29 y Figura 17).

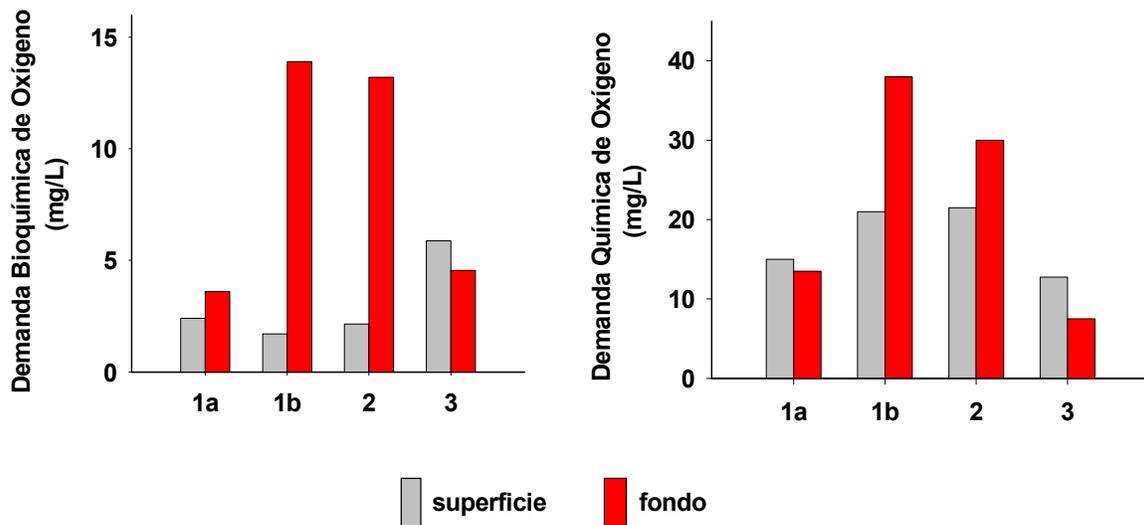


Figura 17. Concentraciones de la Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno (mg/L) en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces. Los valores son promedios de dos muestras.

La concentración de Sólidos Disueltos, Suspendidos y Totales (fracciones orgánica, inorgánica y total) presentes en aguas superficiales y de fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces se presentan en Tabla 30 y Figura 18.

Tabla 30. Concentraciones de Sólidos Suspendidos y Disueltos y Totales (total, orgánico e inorgánico) en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces. Los valores son promedios de dos muestras.

	estación 1a		estación 1b		Estación 2		estación 3	
	superficie	fondo	superficie	fondo	superficie	fondo	superficie	fondo
Sólidos Suspendidos								
Totales	4.10	4.00	6.39	4.61	4.60	5.45	11.45	6.58
Orgánicos	1.60	2.30	3.09	2.12	2.10	1.90	5.70	2.71
Inorgánicos	2.50	1.70	3.30	2.49	2.50	3.55	5.75	3.87
Sólidos Disueltos								
Totales	71.98	49.99	291.99	71.99	64.99	117.00	73.00	100.00
Orgánicos	37.99	16.00	10.00	1.99	3.00	29.00	5.50	18.00
Inorgánicos	33.99	33.99	281.99	70.00	61.99	88.00	67.50	82.00
Sólidos Totales								
Totales	76.08	53.99	298.38	76.60	69.59	122.45	84.44	106.58
Orgánicos	39.59	18.30	13.09	4.11	5.10	30.90	11.20	20.71
Inorgánicos	36.49	35.69	285.29	72.49	64.49	91.55	73.24	85.87

En general, en todos los sitios estudiados predominó la fracción de Sólidos Disueltos, tanto en aguas de fondo como superficie (Tabla 30). Al comparar las concentraciones entre la estación 1a y la estación 1b, descarga del Efluente CELCO, se observó un fuerte incremento en la concentración de Sólidos Disueltos, principalmente en aguas de superficie, con un valor de 71.98 mg/L (estación 1a) a 291.99 mg/L (estación 1b) (Fig. 18).

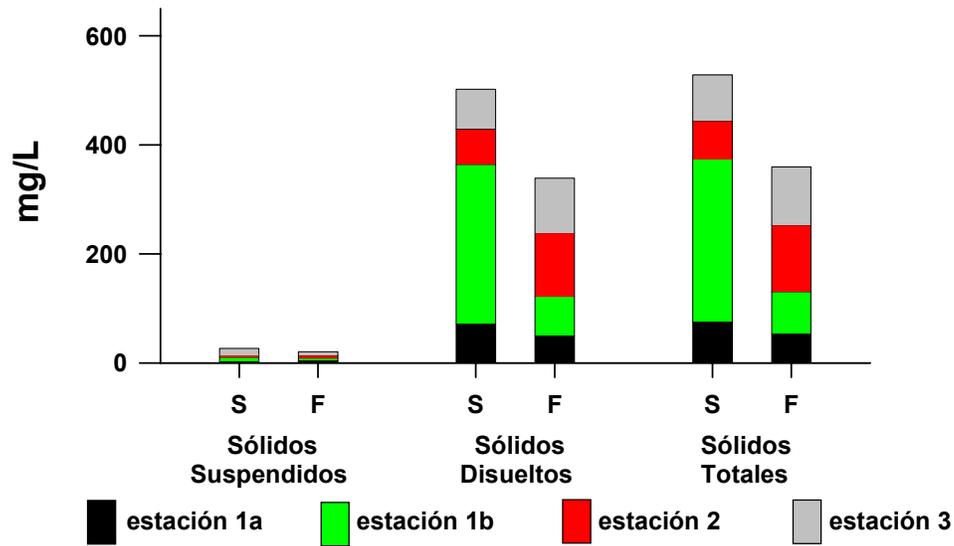


Figura 18. Concentración (mg/L) de Sólidos Suspendidos, Disueltos y Totales (i.e. Suspendidos + Disueltos) en las aguas superficiales (S) y de fondo (F) en las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces. Los valores corresponden al promedio de dos muestras.

Este incremento en los Sólidos Disueltos corresponde principalmente al aporte de Disueltos inorgánicos, ya que las aguas del río Cruces en la estación 1a presentaban un total inorgánico del 55% (36.09 mg/L) y en estación 1b, descarga Efluente CELCO, se incrementó al 95% (178.89 mg/L), incidiendo en la composición de las fracciones de sólidos en las estaciones 2 y 3, con valores porcentuales de 81% (78.02 mg/L) y 84% (77.45 mg/L), respectivamente (Fig. 19 y Tabla 30).

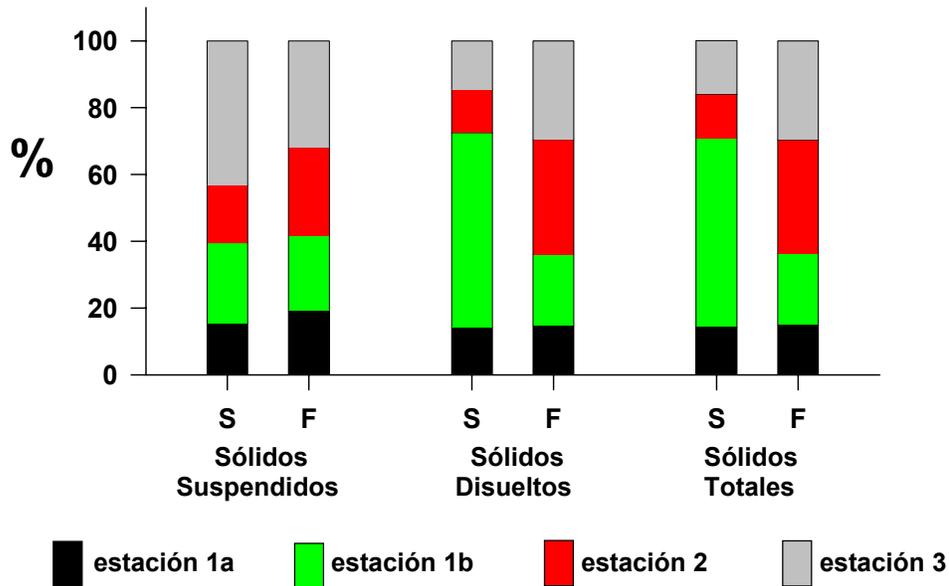


Figura 19. Distribución porcentual de la concentración Sólidos Suspendedos, Disueltos y Totales (i.e. Suspendedos + Disueltos) en las aguas superficiales (S) y de fondo (F) de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces.

Estos datos sugieren que al comparar las concentraciones de los parámetros de los muestreos simultáneos de 24 horas entre estación 1a y estación 1b en Enero del 2005, aguas abajo de la descarga del Efluente CELCO se modificaron las características de la calidad del agua del río Cruces, principalmente asociadas a **temperatura, pH, conductividad, Hierro, Manganeso, Zinc, DBO₅, DQO y Sólidos Disueltos inorgánicos.**

6.4.1.2. Cálculo de cargas netas diarias en la columna de agua del río Cruces

Análisis cargas netas diarias

Las cargas diarias netas asociadas a las concentraciones de metales, nutrientes, DBO₅, DQO y Sólidos respecto al caudal del día de muestreo se presentan en Tablas 31, 32, 33 y 34 para las cuatro estaciones; pero para efectos de análisis sólo se considerarán las estaciones 1a y 1b, por ser muestreos de 24 horas simultáneos y comparables, afectados por las mismas condiciones abióticas.

Tabla 31. Cargas netas diarias (kg/d) de metales pesados en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces.

	estación 1a	estación 1b	estación 2	estación 3
Hierro soluble				
superficie	260.17	387.97	292.12	398.62
fondo	5.93	292.12	287.56	209.96
total (fondo + superficie)	266.10	680.09	579.68	608.58
Manganeso				
superficie	21.00	62.08	3.88	52.95
fondo	6.76	30.58	8.12	23.73
total (fondo + superficie)	27.76	92.66	12.00	76.68
Zinc				
superficie	7.99	21.91	8.72	21.91
fondo	4.70	23.73	10.95	5.69
total (fondo + superficie)	12.69	45.64	19.67	27.60
Cobre				
superficie	12.00	21.45	8.76	23.13
fondo	13.69	5.11	9.17	10.95
total (fondo + superficie)	25.69	26.56	17.93	34.08

En la Tabla 31 se observa que el Hierro soluble y el Manganeso registran las mayores variaciones entre las estaciones 1a y 1b. La carga diaria neta asociada al Hierro soluble, entre esas estaciones registró una fuerte variación específicamente en aguas de

fondo con 5.93 kg/d en estación 1a e incrementándose a 292.12 kg/d en estación 1b; con un incremento de carga total neta diaria de 266.10 kg/d en estación 1a a 680.09 kg/d en estación 1b (i.e. carga de superficie + carga de fondo) (Fig. 20). La carga neta diaria de Manganeso se ve incrementada entre la estación 1a y 1b, en aguas de fondo de 6.76 kg/d a 30.58 kg/d y en aguas de superficie de 21 kg/d a 62.08 kg/d, con una carga neta total diaria de 27.75 kg/d en la estación 1a y de 92.66 kg/d en la estación 1b (Fig. 20). Las cargas netas diarias de fondo y superficie asociadas al Zinc son similares en la columna de agua para las estaciones 1a y 1b, respectivamente. La carga neta diaria asociada a la estación 1a fue de 12.69 kg/d Zn y se incrementó a 45.64 kg/d Zn en la estación 1b (Fig. 20). La carga neta diaria de Cobre en aguas superficiales de la estación 1a fue de 12.00 kg/d, incrementándose en la estación 1b a 21.45 kg/d, en aguas de fondo la carga neta diaria en la estación 1a fue de 13.69 kg/d mientras que en la estación 1b fue de 5.11 kg/d (Fig. 20 y Tabla 31). Al analizar la carga neta diaria total de las estaciones 1a y 1b no se observa un aumento importante, con valores de 25.69 y 26.56 kg/d Cu, respectivamente (Fig. 20 y Tabla 31).

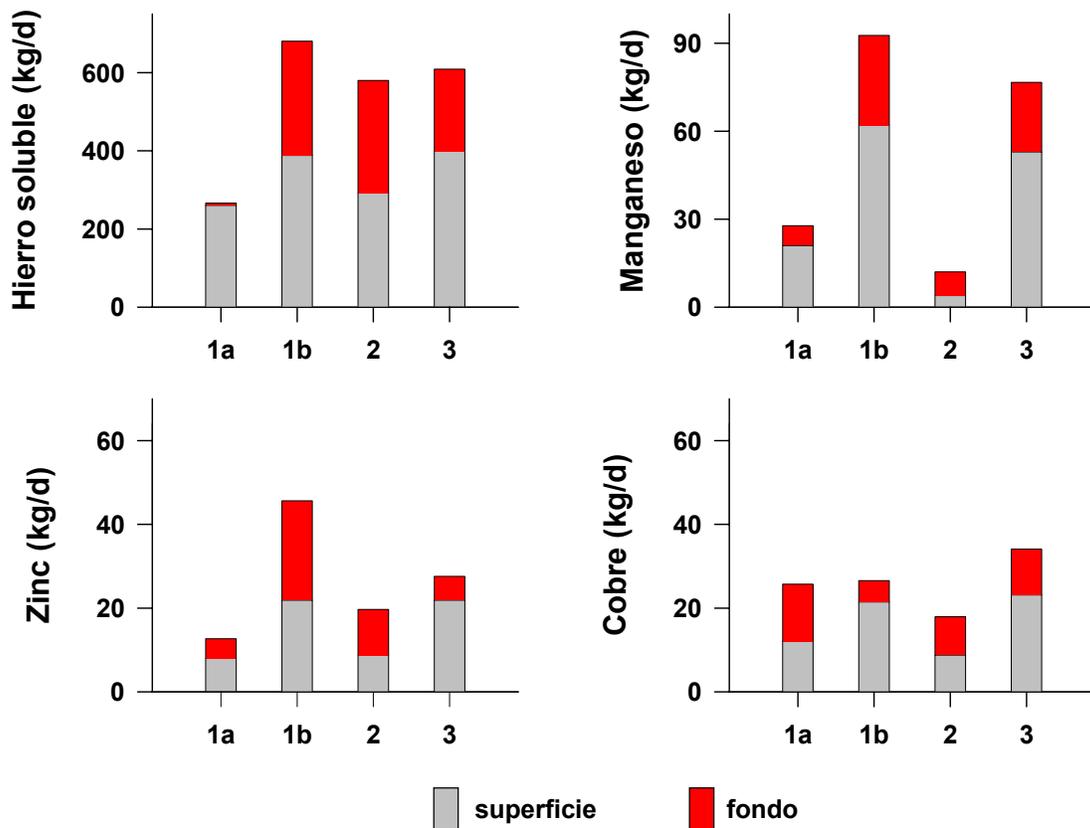


Figura 20. Cargas netas diarias (kg/d) de Hierro soluble, Manganeseo, Zinc y Cobre en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestro en el río Cruces.

Las cargas netas diarias del Nitrógeno Kjeldahl, Nitrato, Amonio, Fósforo total y soluble, se presentan en la Tabla 32. En general no se observaron mayores diferencias entre las cargas estimadas para la estación 1a y 1b, sólo en las cargas correspondientes al Nitrógeno Kjeldahl se observa una disminución desde la estación 1a a la estación 1b (Tabla 32).

Tabla 32. Cargas netas diarias (kg/d) de Nitrógeno Kjeldahl, Nitrato, Amonio, Fósforo total y soluble en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces.

	estación 1a	estación 1b	estación 2	estación 3
Nitrógeno Kjeldahl				
superficie	82.16	36.52	136.93	310.38
fondo	146.06	63.90	77.59	182.58
total (fondo + superficie)	228.22	100.42	214.52	492.96
Nitratos				
superficie	53.83	97.20	72.32	101.91
fondo	54.75	38.77	40.60	47.15
total (fondo + superficie)	108.58	135.97	112.92	149.06
Amonio				
superficie	31.64	53.97	25.97	63.80
fondo	21.72	11.79	11.44	39.76
total (fondo + superficie)	53.36	65.76	37.41	103.56
Fósforo total				
superficie	36.52	27.39	73.03	63.90
fondo	27.39	27.39	27.39	18.26
total (fondo + superficie)	63.91	54.78	100.42	82.16
Fósforo soluble				
superficie	13.09	7.60	11.42	32.85
fondo	6.54	7.76	39.62	8.69
total (fondo + superficie)	19.63	15.36	51.04	41.54

Las cargas netas diarias de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se presentan en la Figura 21 y en la Tabla 32.

Tabla 33. Cargas netas diarias (kg/d) de la Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces.

	estación 1a	estación 1b	estación 2	estación 3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)				
superficie	2190.91	1551.89	1962.69	7150.89
fondo	3286.36	12689.02	12050.00	2769.07
total (superficie + fondo)	5477.27	14240.91	14012.69	9919.96
Demanda química de Oxígeno (DQO)				
superficie	13693.19	19170.46	19626.90	15518.94
fondo	12323.87	34689.40	27386.37	4564.40
total (superficie + fondo)	26017.06	53859.86	47013.27	20083.34

Tanto las cargas de DBO₅ como las de DQO mostraron incrementos importantes entre las estación 1a y 1b (Tabla 33). En aguas de fondo de la estación 1a la carga neta diaria asociada a la DBO₅ fue de 3 286.36 kg/d y se incrementó a 12 689.02 kg/d en estación 1b (inmediato al Efluente CELCO); con una carga neta total diaria en la columna de agua en la estación 1a de 5 477.27 kg/d y que asciende a 14 240.91 kg/d en la estación 1b (Fig. 21). Similar tendencia muestra la DQO, donde predominaron las diferencias de cargas netas diarias entre estaciones en aguas de fondo, con un valor de 12323.87 kg/d en la estación 1a a 34 689.40 kg/d en la estación 1b; con una diferencia de carga neta diaria total en la columna de agua de 26 017.05 kg/d en estación 1a a un total de 53 859.87 kg/d en la estación 1b (Tabla 33 y Fig. 21).

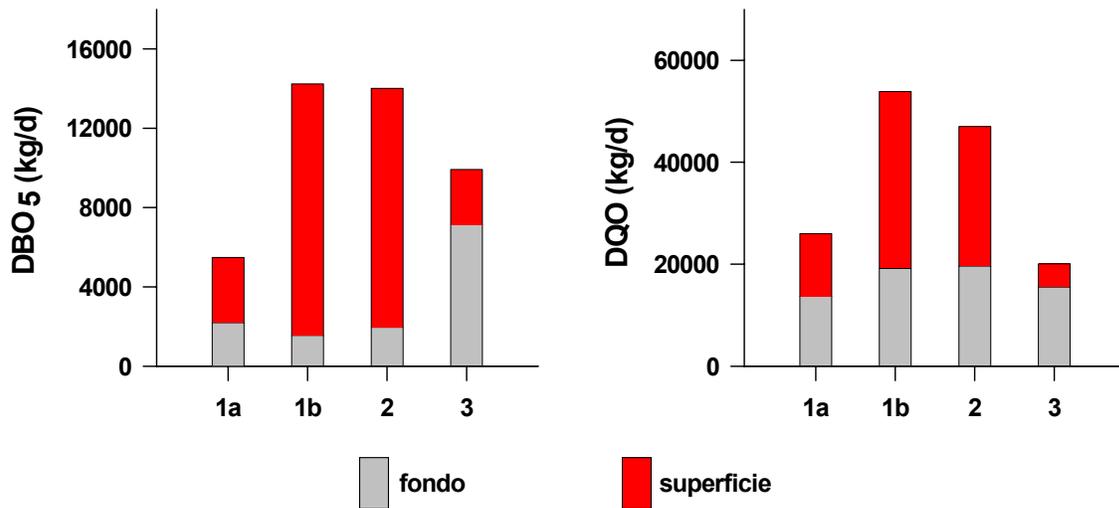


Figura 21. Cargas netas diarias (kg/d) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestro en el río Cruces.

Las cargas de Sólidos Disueltos, Suspendidos y Totales en las aguas de superficie y fondo en las cuatro estaciones de muestreo se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34. Cargas netas diarias de Sólidos Suspendidos, Sólidos Disueltos y Sólidos Totales (Suspendidos + Disueltos), fracciones orgánica inorgánica y total (orgánica + inorgánica) en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces.

	Sólidos Suspendidos			Sólidos Disueltos			Sólidos Totales		
	totales	orgánicos	inorgánicos	totales	orgánicos	inorgánicos	totales	orgánicos	inorgánicos
estación 1a									
Superficie	3742.80	1460.61	2282.20	65709.04	34680.28	31028.76	69451.84	36140.88	33310.96
Fondo	3651.52	2099.62	1551.89	45634.82	14606.07	31028.76	49286.34	16705.69	32580.65
total (superficie + fondo)	7394.32	3560.23	3834.09	111343.86	49286.34	62057.52	118738.18	52846.57	65891.61
estación 1b									
Superficie	5833.30	2820.80	3012.50	266551.56	9128.79	257422.77	272384.86	11949.59	260435.27
Fondo	4208.37	1935.30	2273.07	65718.16	1816.63	63901.54	69926.54	3751.93	66174.60
total (superficie + fondo)	10041.67	4756.10	5285.57	332269.72	10945.42	321324.30	342311.39	15701.52	326609.87
estación 2									
Superficie	4199.24	1917.05	2282.20	59328.01	2738.64	56589.37	63527.25	4655.68	58871.57
Fondo	4975.19	1734.47	3240.72	106806.85	26473.49	80333.36	111782.04	28207.96	83574.08
total (superficie + fondo)	9174.43	3651.52	5522.92	166134.86	29212.13	136922.73	175309.30	32863.65	142445.65
estación 3									
Superficie	13936.62	6937.88	6998.74	88853.56	6694.45	82159.12	102778.01	13632.33	89145.68
Fondo	4004.50	1649.27	2355.23	60858.60	10954.55	49904.06	64863.10	12603.82	52259.28
total (superficie + fondo)	17941.12	8587.15	9353.97	149712.17	17649.00	132063.17	167641.11	26236.14	141404.97

En general, en todas las estaciones y profundidades analizadas predominan los Sólidos Disueltos (Fig. 22 y Tabla 34). Al comparar las cargas netas diarias entre la estación 1a y la estación 1b, se observa un fuerte incremento en la concentración de Sólidos Disueltos, principalmente en aguas superficiales, desde una carga de 65 709.04 kg/d (estación 1a) a 266 551.56 kg/d (estación 1b) (Fig. 22).

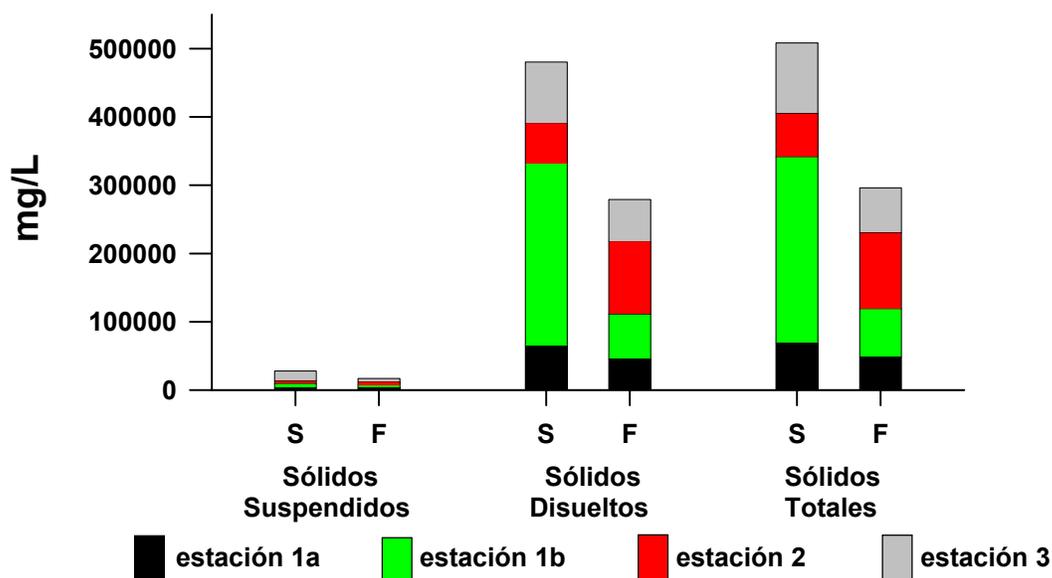


Figura 22. Cargas netas diarias de Sólidos Suspendedos, Disueltos y Totales (Suspendedos + Disueltos) en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces.

El aumento en los Sólidos Disueltos corresponde principalmente al aporte de Disueltos inorgánicos, ya que las aguas del río Cruces en la estación 1a presentaban un total inorgánico del 55% (65891.61 kg/d) y en la estación 1b (inmediata a la descarga del Efluente CELCO), la fracción inorgánica total se incrementó al 95% (326 609.87 kg/d); con cargas netas diarias en la columna de 118 738.18 kg/d en estación 1a y 342 311.39 kg/d en la estación 1b, (Tabla 34 y Fig. 23).

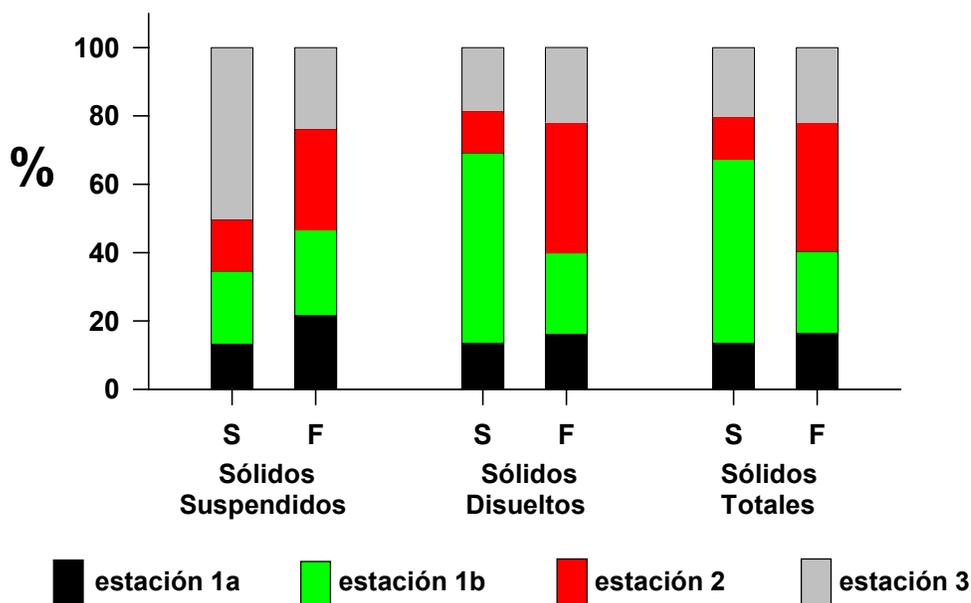


Figura 23. Distribución porcentual de la carga neta diaria de Sólidos Suspendedos, Disueltos y Totales (Suspendedos + Disueltos) en las aguas de superficie y fondo de las cuatro estaciones de muestreo en el río Cruces.

Se concluye que al comparar las cargas netas diarias asociadas a las concentraciones de los parámetros considerados en los muestreos simultáneos de 24 horas entre estación 1a y estación 1b del río Cruces, se observó un incremento de cargas netas diarias, principalmente asociadas a incrementos de **Hierro soluble, Manganeso, Zinc, DBO₅, DQO y Sólidos Disueltos inorgánicos**.

Análisis de aportes netos en la columna de agua del río Cruces

En la Tabla 35 se presentan las diferencias entre las estaciones 1a y 1b, para las variables de mayor relevancia analizadas anteriormente (i.e. temperatura, pH, conductividad, concentración de Hierro soluble, Manganeso, Zinc, DBO₅, DQO y Sólidos Disueltos inorgánicos).

Tabla 35. Diferencia de las características de las aguas del río Cruces entre la estación 1a y la estación 1b en el río Cruces.

	estación 1a	estación 1b	diferencia
Temperatura	16.90	17.67	0.77
pH (⁺ H)	6.83	7.23	0.40
Conductividad (μ S/cm)	39.61	67.52	27.91
Hierro soluble (mg/L)	0.146	0.373	0.227
Manganeso (mg/L)	0.015	0.051	0.036
Zinc (mg/L)	0.007	0.025	0.018
DBO ₅ (mg/L)	3.00	7.80	4.80
DQO (mg/L)	14.25	29.50	15.25
S Disueltos inorgánicos	36.09	178.89	142.8

Las mayores diferencias apuntan a **Sólidos Disueltos inorgánicos, DQO y conductividad**, por lo que el aporte en el trayecto entre estación 1a y estación 1b podría corresponder al ingreso de metales, sales u otros sólidos disueltos inorgánicos no considerados en el muestreo ("como iones de sodio, cloruro, sulfato, clorato, aluminio y otros iones inorgánicos, presentes por ejemplo, en los insumos químicos utilizados en los procesos de la planta de CELCO y/o en los componentes originales de la madera") o en una o más fuentes generadoras no identificadas que descargan en el tramo entre la estación 1a y estación 1b.

Lo anterior también se refleja a nivel de diferencias de cargas netas diarias entre la estación 1a y la estación 1b (Tabla 36), trayecto de 100 metros del río Cruces, donde se observan los mayores aportes positivos (ingresos) de carga neta diaria asociados a **Hierro soluble, Manganeso, DBO₅, DQO y Sólidos Disueltos Inorgánicos**.

Tabla 36 Diferencia de las cargas netas diarias asociadas a las características de las aguas del río Cruces en la estación 1a y estación 1b en el río Cruces.

	estación 1a	estación 1b	diferencia
Hierro soluble (kg/d)	266.10	680.09	413.99
Manganeso (kg/d)	27.75	92.66	64.91
Zinc (kg/d)	12.69	45.64	30.40
DBO ₅ (kg/d)	5 477.27	14 240.91	8 763.64
DQO (kg/d)	26 017.05	53 859.87	27 842.81
Sólidos Disueltos inorgánicos (kg/d)	65 891.61	326 609.87	260 718.26

6.4.2. Comparaciones históricas

6.4.2.1. Análisis de la calidad del agua del río Cruces antes de la puesta en marcha de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO) en Mariquina

Los datos históricos y actuales (i.e. muestreo de Enero del 2005) de temperatura, pH y conductividad en la columna de agua de las tres estaciones analizadas se presentan en la Tabla 37.

En las tres estaciones de muestreo, la temperatura y pH del agua durante Enero del 2005, presentó valores que se encuentran dentro del rango de variación de los datos considerados como línea de base histórica (Tabla 37). Para la conductividad, esta tendencia sólo se presentó en las aguas de la estación 1a, mientras que en las estaciones 2 y 3 la conductividad fue mayor durante el muestreo de Enero del 2005. En la estación 2, la conductividad fue notoriamente mayor durante Enero del 2005 con 145.61 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en contraste los datos históricos variaron entre 27 y 56.60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 37). En la estación 3, la conductividad del agua en el 2005 fue de 85.95 $\mu\text{S}/\text{cm}$, este valor sólo fue similar al encontrado en Junio de 1995 (i.e. 83.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ya que en el resto de los muestreos varió entre 27.90 y 46.20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 37).

Tabla 37. Comparación de valores históricos y actuales (Enero del 2005) de temperatura (°C), pH (⁺H) y conductividad (μS/cm) en la columna de agua de las estaciones 1a, 2 y 3. Los datos históricos corresponden a muestras puntuales (n = 1) mientras que los datos de Enero del 2005 corresponden a promedios de muestras (n = 4 en estaciones 1a y 2; n = 6 en estación 3).

	Temperatura °C	pH ⁺ H	Conductividad μS/cm
estación 1			
Jun-95	8.90	6.42	25.70
Jul-95	10.90	6.46	34.80
Ago-95	8.60	6.39	27.60
Oct-95	11.50	6.45	-----
Nov-95	15.00	7.01	-----
Dic-95	18.60	6.45	32.20
Ene-96	19.60	7.25	42.80
Feb-96	17.90	7.32	47.70
Sep-02	9.50	7.10	47.80
Mar-03	20.80	7.00	43.10
Sep-03	11.00	7.00	24.10
Ene-05	16.90	6.83	39.61
estación 2			
Jun-95	8.70	6.25	42.90
Jul-95	11.20	6.39	27.60
Ago-95	8.80	6.36	28.20
Oct-95	12.80	6.50	-----
Nov-95	15.50	7.07	-----
Dic-95	19.40	6.35	33.30
Ene-96	21.10	7.12	44.10
Feb-96	18.50	7.48	50.00
Sep-02	8.40	7.10	56.60
Mar-03	19.80	6.80	52.80
Sep-03	11.10	6.70	27.00
Ene-05	17.07	6.84	145.61
estación 3			
Jun-95	8.40	6.15	83.30
Jul-95	10.80	6.31	27.90
Ago-95	8.90	6.40	30.60
Oct-95	12.90	6.50	-----
Nov-95	15.90	6.87	-----
Dic-95	19.70	6.30	34.60
Ene-96	21.50	7.43	45.40
Feb-96	18.50	7.14	46.00
Sep-02	9.10	7.20	32.60
Mar-03	20.10	6.80	46.20
Sep-03	11.30	6.80	32.50
Ene-05	20.33	7.14	85.95

Los promedios históricos y actuales de temperatura, pH y conductividad se presentan en la Figura 24. En general, la temperatura promedio de las tres estaciones

de muestreo fue mayor durante Enero del 2005; sin embargo, esas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($P>0.05$) y las menores temperaturas de los datos históricos se explican por muestreos durante invierno cuando la temperatura del agua es menor. Los valores promedios del pH, tampoco presentaron diferencias significativas entre los muestreos correspondientes a la línea de base histórica con aquellos encontrados durante el muestreo de Enero del 2005 (Fig. 24). Al comparar las conductividades promedios históricas con las encontradas en Enero del 2005, las aguas de las estaciones 2 y 3 presentaron valores significativamente mayores ($P<0.05$) durante Enero del 2005, mientras que las aguas de la estación 1, antes de la descarga del Ril, no presentaron diferencias significativas ($P>0.05$) entre los datos históricos y los actuales (Fig. 24). En la estación 2 la conductividad promedio fue de $145.61 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Enero del 2005) y de $40.28 \mu\text{S}/\text{cm}$ (datos históricos). A su vez, en la estación 3 la conductividad promedio en Enero del 2005 fue de $85.95 \mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el promedio histórico fue de $42.12 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 24).

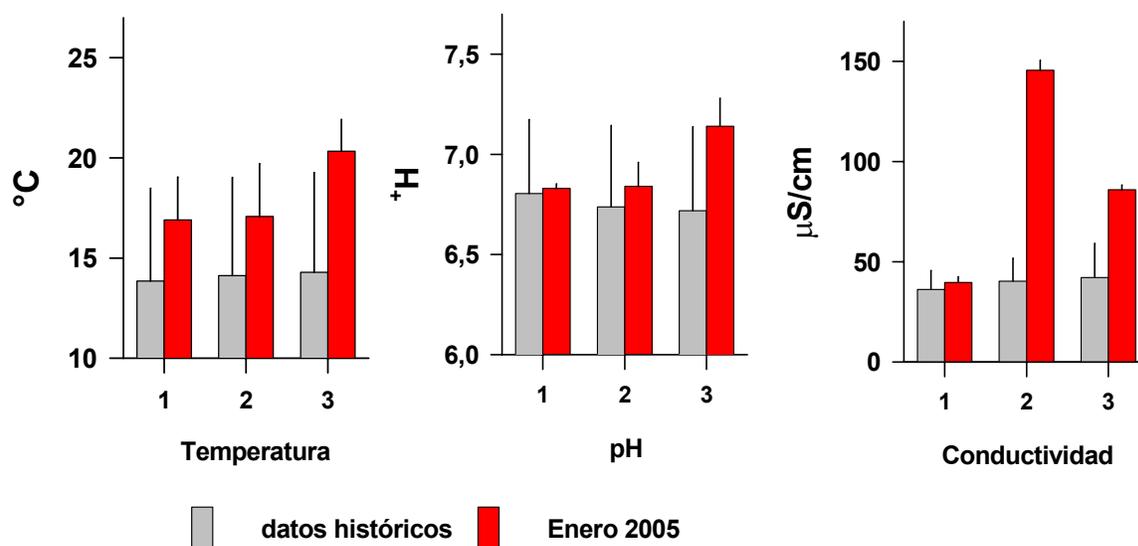


Figura 24. Promedios históricos y actuales (Enero del 2005) de la temperatura, pH y conductividad en las aguas de las tres estaciones de muestreo analizadas en el río Cruces.

Los datos correspondientes a las concentraciones históricas y actuales (*i.e.*, muestreo de Enero del 2005) de Hierro soluble, Manganeso, Zinc y Cobre en la columna de agua de las tres estaciones analizadas se presentan en la Tabla 38.

En general, las concentraciones de Hierro soluble, Manganeso, Zinc y Cobre encontradas en Enero del 2005 estuvieron en el rango de variación de las concentraciones correspondientes a la línea de base histórica (Tabla 38). En la estación 1, el Hierro soluble presentó concentraciones entre 0.02 y 0.40 mg/L (datos históricos) y de 0.146 (Enero del 2005), mientras que en la estación 2 presentó valores entre 0.05 y 0.46 mg/L (datos históricos) y de 0.318 (Enero del 2005) y en la estación 3 este metal presentó concentraciones entre 0.110 y 2.53 mg/L (datos históricos) y de 0.333 mg/L (Enero del 2005). Durante el muestreo de Enero del 2005, etapa de operación de la Planta de Celulosa, la concentración de Manganeso en el agua fue de 0.015, 0.007 y 0.042 mg/L (estaciones 1, 2 y 3 respectivamente), mientras que los datos históricos variaron entre 0.009 y 0.032 mg/L en la estación 1, entre 0.004 y 0.027 mg/L en la estación 2 y entre 0.007 y 0.038 mg/L en la estación 3 (Tabla 38). La concentración de Zinc en Enero del 2005 en las respectivas estaciones aguas abajo fue de 0.007, 0.011 y 0.015 mg/L, mientras que los datos históricos en las tres estaciones presentaron concentraciones que variaron entre valores menores a 0.001 mg/L y de 0.004, 0.33 y 0.06 mg/L en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente (Tabla 38). La concentración de Cobre en la estación 1 durante el muestreo de Enero del 2005 presentó valores por sobre el rango de variación de los datos históricos (Tabla 38). En las estaciones 2 y 3, este metal presentó concentraciones de 0.010 y 0.019 mg/L respectivamente, los datos históricos en esas mismas estaciones presentaron rangos de variación con concentraciones menores a 0.005 mg/L y 0.012 mg/L en estación 2 y de 0.027 mg/L en la estación 3 (Tabla 38).

Tabla 38. Comparación de valores históricos y actuales (Enero del 2005) de la concentración de Hierro soluble, Manganeso, Zinc y Cobre (mg/L) en la columna de agua de las estaciones 1, 2 y 3 en el río Cruces. Los datos históricos corresponden a muestras puntuales (n = 1) mientras que los datos de Enero del 2005 corresponden a promedios (n = 4 en estaciones 1a y 2; n = 6 en estación 3).

	Hierro soluble	Manganeso	Zinc	Cobre
estación 1a				
Jun-95	0.290	0.023	0.000	0.009
Jul-95	0.020	0.030	0.004	0.001
Ago-95	-----	-----	-----	-----
Oct-95	-----	-----	-----	-----
Nov-95	-----	-----	-----	-----
Dic-95	0.040	0.009	0.002	0.002
Ene-96	-----	-----	-----	-----
Feb-96	-----	-----	-----	-----
Sep-02	0.380	0.032	< 0.001	< 0.005
Mar-03	0.400	0.019	0.003	< 0.005
Sep-03	0.130	0.010	0.004	< 0.005
Ene-05	0.146	0.015	0.007	0.014
estación 2				
Jun-95	0.260	0.026	0.003	0.012
Jul-95	0.050	0.026	0.003	0.001
Ago-95	-----	-----	-----	-----
Oct-95	-----	-----	-----	-----
Nov-95	-----	-----	-----	-----
Dic-95	0.120	0.004	0.002	0.001
Ene-96	-----	-----	-----	-----
Feb-96	-----	-----	-----	-----
Sep-02	0.200	0.006	< 0.001	< 0.005
Mar-03	0.460	0.027	0.330	< 0.005
Sep-03	0.100	0.008	0.003	< 0.005
Ene-05	0.318	0.007	0.011	0.010
estación 3				
Jun-95	0.450	0.038	0.005	0.008
Jul-95	0.120	0.021	0.005	0.002
Ago-95	-----	-----	-----	-----
Oct-95	-----	-----	-----	-----
Nov-95	-----	-----	-----	-----
Dic-95	0.110	0.025	0.003	0.027
Ene-96	-----	-----	-----	-----
Feb-96	-----	-----	-----	-----
Sep-02	0.530	0.010	< 0.001	< 0.005
Mar-03	2.530	0.037	0.060	< 0.005
Sep-03	0.140	0.007	0.004	< 0.005
Ene-05	0.333	0.042	0.015	0.019

Los promedios de los datos históricos y actuales de las concentraciones de Hierro soluble, Manganeso, Zinc y Cobre en las aguas de las tres estaciones de

muestreo del río Cruces se presentan en la Figura 25. La concentración promedio de Hierro soluble en las aguas de la estación 1 fue levemente menor en el muestreo de Enero del 2005, en contraste en las estaciones 2 y 3 esas concentraciones promedios fueron levemente mayores; sin embargo, debido a la alta variabilidad observada en los datos históricos, los análisis de varianza no registraron diferencias significativas ($P>0.05$) entre las concentraciones de Hierro soluble en Enero del 2005 y los datos históricos analizados (Fig. 25). La concentración de Manganeseo, no presentó diferencias significativas ($P>0.05$) entre los datos históricos y actuales en las estaciones 1a y 2, en la estación 3 la concentración de Manganeseo fue significativamente mayor ($P<0.05$) durante el muestreo de Enero del 2005 (Fig. 25). Las concentraciones de Zinc y Cobre, no registraron diferencias significativas ($P>0.05$) entre los datos históricos y los encontrados en Enero del 2005 (Fig. 25).

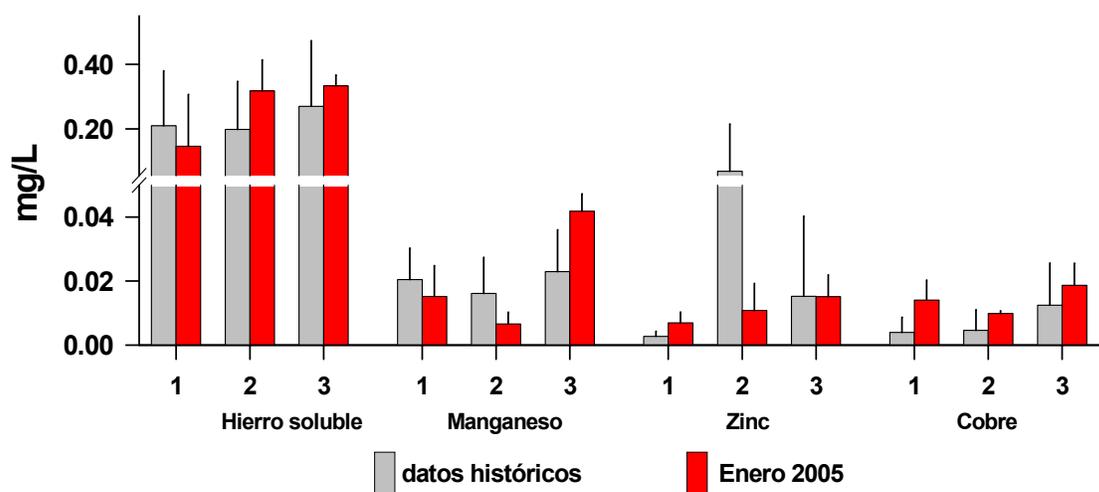


Figura 25. Promedios históricos y actuales (Enero del 2005) de la concentración (mg/L) de Hierro, Manganeseo, Zinc y Cobre en las aguas de las tres estaciones de muestreo analizadas en el río Cruces

Los datos históricos correspondientes a la concentración de Nitrógeno Kjeldahl en las aguas de las 3 estaciones, mostraron diferencias notorias entre los muestreos del período 1995-1996 y 2002-2003 (Tabla 39), siendo mayores en el segundo período de muestreo. En la estación 1, esas concentraciones variaron entre 0.0314 y 0.0961 mg/L en el período 1995-1996 y 0.2400 y 0.3300 mg/L en el período 2002-2003. En la

estación 2, esas concentraciones variaron entre 0.0257 y 0.1309 mg/L en el período 1995-1996 y entre 0.2100 y 0.3500 mg/L en el período 2002-2003. A su vez, en la estación 3, esas concentraciones variaron entre 0.0506 y 0.0961 en el período 1995-1996 y entre 0.3200 y 0.3500 mg/L en el período 2002-2003 (Tabla 39). Las concentraciones de Nitrógeno Kjeldahl encontradas durante el muestreo de Enero del 2005 presentaron valores intermedios a los mencionados para los períodos 1995-1995 y 2002-2003, con valores de 0.125, 0.1180 y 0.2680 mg/L en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente (Tabla 39).

La concentración de nitrato en las aguas de las tres estaciones de muestreo durante Enero del 2005, en general estuvo por debajo del rango de variación de los datos correspondientes a la línea de base histórica para esas estaciones (Tabla 39). En la estación 1, las concentraciones históricas de nitrato presentaron valores sobre los 0.12 mg /L, mientras que en enero del 2005 no superó los 0.06 mg/L; en la estación 2 los datos históricos fueron mayores a los 0.16 mg/L y en Enero del 2005 fue menor a 0.07 mg/L. En la estación 3, sólo la concentración de enero de 1996 (*i.e.*, 0.073 mg/L) fue similar a la de Enero del 2005 (0.082), ya que en todos los muestreos restantes esas concentraciones fueron mayores a 0.18 mg/L (Tabla 39).

Durante el muestreo de Enero del 2005, las concentraciones de Amonio y Fósforo total en las aguas de las tres estaciones analizadas estuvieron dentro del rango de variación de los datos históricos correspondientes a esas variables (Tabla 39). A su vez, la concentración de Fósforo soluble durante Enero del 2005, presentó valores sobre el rango de variación de los datos históricos (Tabla 39).

Tabla 39. Comparación de valores históricos y actuales (Enero del 2005) de la concentración de Nitrógeno Kjeldahl, Nitrato, Amonio, Fósforo total y soluble (mg/L) en la columna de agua de las estaciones 1, 2 y 3. Los datos históricos corresponden a muestras puntuales (n = 1) mientras que los datos de Enero del 2005 corresponden a promedios (n = 4 en estaciones 1a y 2; n = 6 en estación 3).

	Nitrógeno Kjeldahl.	Nitrato	Amonio	Fósforo total	Fósforo soluble
estación 1					
Jun-95	0.0531	0.3396	0.0063	0.0101	0.0073
Jul-95	0.0928	0.3964	0.0131	0.0182	0.0059
Ago-95	0.0506	0.3961	0.0182	0.0179	0.0057
Oct-95	0.0439	0.2678	0.0103	0.0134	-----
Nov-95	0.0961	0.1240	0.0103	0.0055	-----
Dic-95	0.0538	0.1292	0.0103	0.0026	0.0006
Ene-96	0.0314	0.2883	0.0000	0.0026	0.0016
Feb-96	0.0538	0.3858	0.0191	0.0038	0.0030
Sep-02	0.3300	0.4600	<0.0100	0.0180	0.0150
Mar-03	0.2400	0.4600	0.0400	0.0600	0.0042
Sep-03	0.3100	0.4800	0.0300	0.0400	<0.0039
Ene-05	0.1250	0.0590	0.0290	0.0350	0.0110
estación 2					
Jun-95	0.0282	0.3961	0.0046	0.0154	0.0071
Jul-95	0.0257	0.4885	0.0131	0.0205	0.0069
Ago-95	0.0328	0.4474	0.0165	0.0146	0.0063
Oct-95	0.0663	0.3088	0.0147	0.0135	-----
Nov-95	0.0364	0.1600	0.0082	0.0059	-----
Dic-95	0.0712	0.1600	0.0038	0.0025	0.0004
Ene-96	0.0265	0.1805	0.0000	0.0028	0.0012
Feb-96	0.1309	0.3858	0.0125	0.0031	0.0030
Sep-02	0.3500	0.5700	<0.0100	0.0170	0.0160
Mar-03	0.2100	0.5200	0.0500	0.0100	0.0045
Sep-03	0.2700	0.4000	0.0300	0.0300	<0.0039
Ene-05	0.1180	0.0820	0.0570	0.0450	0.0230
estación 3					
Jun-95	0.0804	0.4064	0.0436	0.0106	0.0069
Jul-95	0.0879	0.3602	0.0351	0.0172	0.0084
Ago-95	0.0506	0.4166	0.0216	0.0115	0.0057
Oct-95	0.0588	0.2986	0.0125	0.0109	-----
Nov-95	0.0638	0.1856	0.0235	0.0085	-----
Dic-95	0.0961	0.2010	0.0344	0.0024	0.0011
Ene-96	0.0165	0.0727	0.0082	0.0026	0.0011
Feb-96	0.0887	0.2883	0.0169	0.0032	0.0023
Sep-02	0.3500	0.5800	0.1800	0.0150	0.0160
Mar-03	0.3300	0.5200	0.0200	0.0900	0.0030
Sep-03	0.3200	0.3500	0.0500	0.0400	<0.0039
Ene-05	0.2680	0.0820	0.0570	0.0750	0.0230

Los promedios de los datos históricos y actuales de las concentraciones de Nitrógeno Kjeldahl, Nitratos, Amonio, Fósforo total y soluble en las aguas de las tres

estaciones de muestreo en el río Cruces se presentan en la Figura 26. En las aguas de las estaciones 1 y 2, las concentraciones de Nitrógeno Kjeldahl no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los datos considerados históricos y aquellos correspondientes al muestreo de Enero del 2005, las concentraciones promedio de la estación 1 fueron de 0.1232 mg/L en los datos históricos y 0.1250 mg/L en Enero del 2005 (Fig. 26). A su vez, la concentración promedio de Nitrógeno Kjeldahl en las aguas de la estación 2 fue de 0.1135 y 0.1175 mg/L, datos históricos y de Enero del 2005 respectivamente (Fig. 26). La concentración promedio de Nitrógeno Kjeldahl en las aguas de la estación 3, fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en el muestreo de Enero del 2005 (0.2683 mg/L) en comparación con la correspondiente a los datos considerados históricos (0.1403 mg/L) (Fig. 26). Las concentraciones de nitratos en la columna de agua fueron significativamente menores ($P < 0.05$) durante el muestreo de Enero del 2005 en todas las estaciones analizadas (Fig. 26). En general, los datos históricos muestran concentraciones mayores a 0.30 mg /L, mientras que en muestreo de Enero del 2005 esas concentraciones no superaron los 0.09 mg/L (Fig. 26). Las concentraciones de Amonio sólo registraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la estación 1, donde se encontró una concentración de 0.0292 mg/L en Enero del 2005, mientras que el promedio histórico fue de 0.0158 mg/L (Fig. 29). Las concentraciones de Fósforo total y soluble fueron estadísticamente similares sólo en la estación 1, mientras que en las estaciones 2 y 3, la concentración de esas variables fue significativamente mayor durante el muestreo de Enero del 2005 (Fig. 26).

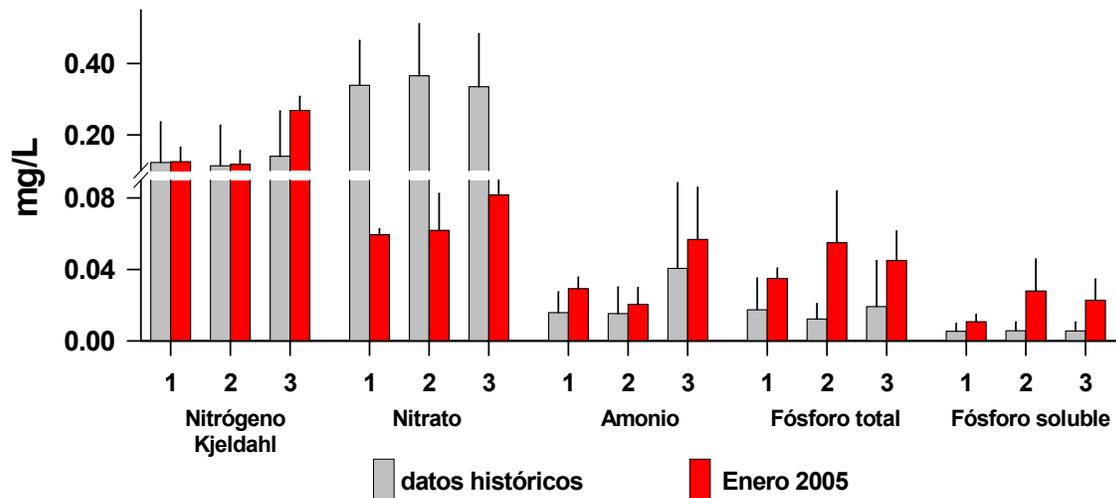


Figura 26. Promedios históricos y actuales (Enero del 2005) de la concentración (mg/L) de Nitrógeno, Nitrato, Amonio, Fósforo total y soluble en las aguas de las tres estaciones de muestreo analizadas en el río Cruces

Las concentraciones históricas y actuales (i.e. muestreo de Enero del 2005) de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno en la columna de agua de las tres estaciones analizadas se presentan en la Tabla 40. Las concentraciones de Oxígeno Disuelto en la columna de agua de las tres estaciones analizadas durante Enero del 2005, presentó valores dentro del rango de variación histórica de esta variable (Tabla 40). En contraste, la demanda bioquímica de Oxígeno (DBO_5) durante el muestreo de Enero del 2005 presentó valores relativamente mayores al rango de variación de los datos históricos. La DBO_5 en la columna de agua durante el muestreo de Enero del 2005, presentó valores de 3.00, 7.68 y 5.43 mg/L (estaciones 1, 2 y 3, respectivamente), en contraste los datos históricos variaron entre 0.60 y 2.56 mg/L en la estación 1, entre 0.64 mg/L en la estación 2 y entre 0.20 y 2.08 mg/L en la estación 3 (Tabla 40). En general, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en la columna de agua durante el muestreo de Enero del 2005 estuvo sobre el rango de variación de los datos históricos en las aguas de las estaciones 1 y 2, mientras que en la estación 3 la DQO de Enero del 2005 fue similar o menor a las encontradas en Julio de 1995 y Septiembre del 2003, respectivamente (Tabla 40).

Tabla 40. Comparación de valores históricos y actuales (Enero del 2005) de la concentración de Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno (mg/L) en la columna de agua de las estaciones 1, 2 y 3. Los datos históricos corresponden a muestras puntuales (n = 1) mientras que los datos de Enero del 2005 corresponden a promedios (n = 4 en estaciones 1a y 2; n = 6 en estación 3).

	Oxígeno Disuelto	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Demanda Química de Oxígeno
estación 1			
Jun-95	10.80	1.60	0.51
Jul-95	10.50	1.28	9.18
Ago-95	10.64	1.04	1.42
Oct-95	10.80	2.56	8.67
Nov-95	9.92	1.68	4.08
Dic-95	9.32	1.42	2.55
Ene-96	9.25	0.80	6.12
Feb-96	8.56	1.04	2.55
Sep-02	11.00	1.70	2.00
Mar-03	9.20	0.60	2.00
Sep-03	10.70	0.90	10.00
Ene-05	9.31	3.00	14.25
estación 2			
Jun-95	10.60	0.56	3.57
Jul-95	10.60	2.40	7.14
Ago-95	10.00	0.80	1.10
Oct-95	10.48	0.64	3.06
Nov-95	9.68	1.76	6.12
Dic-95	10.07	2.30	1.53
Ene-96	9.32	0.64	6.63
Feb-96	9.12	0.96	3.57
Sep-02	10.30	0.70	2.00
Mar-03	9.30	0.80	3.00
Sep-03	11.10	1.30	11.00
Ene-05	8.59	7.68	25.75
estación 3			
Jun-95	10.70	1.12	1.53
Jul-95	10.30	1.76	18.37
Ago-95	10.40	0.88	1.21
Oct-95	10.64	2.08	2.04
Nov-95	8.96	1.28	2.55
Dic-95	8.97	1.97	2.55
Ene-96	8.49	0.56	3.06
Feb-96	8.72	1.36	1.53
Sep-02	10.40	0.80	3.00
Mar-03	9.80	0.90	3.00
Sep-03	9.80	0.20	11.00
Ene-05	7.43	5.43	11.00

Las concentraciones promedios históricas y actuales (Enero del 2005) de Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) en la columna de agua de las tres estaciones estudiadas se presentan en Figura 27. La concentración promedio de Oxígeno Disuelto en las aguas de las tres estaciones de muestreo en el río Cruces no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los datos obtenidos en el muestro de Enero del 2005 y los datos correspondientes a la línea de base histórica de esta variable (Fig. 27). Las concentraciones de DBO_5 y DQO en las aguas de las tres estaciones de muestreo durante Enero del 2005, fueron significativamente mayores a las correspondientes a la línea de base histórica (Fig. 27). En las aguas de la estación 1, la DBO_5 presentó concentraciones promedios de 1.33 mg/L (datos históricos) y de 3.00 mg/L (Enero del 2005), en las aguas de la estación 2 presentó valores de 1.17 mg/L (datos históricos) y de 7.68 mg/L (Enero del 2005), mientras que en las aguas de la estación 3 presentó valores de 1.17 mg/L (datos históricos) y de 5.43 mg/L (Enero del 2005). La Demanda Química de Oxígeno (DQO) en la columna de agua durante el muestreo de Enero del 2005 (14.25 mg/l en estación 1 y 25.75 mg/L en estación 2) estuvo sobre el rango de variación de los datos históricos en las aguas del río Cruces en la estación 1 (4.46 mg/L) y en la estación 2 (4.43 mg/L), tendencia similar para la estación 3 que registra históricamente un promedio de 4.53 mg/L en comparación a 11.0 mg/L de Enero del 2005 (Fig. 27).

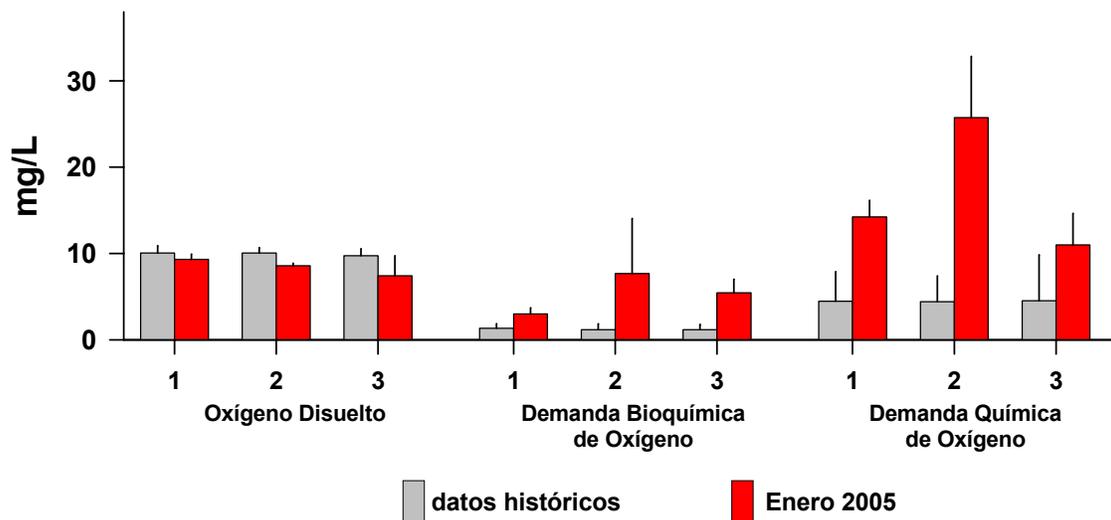


Figura 27. Promedios históricos y actuales (Enero del 2005) de la concentración (mg/L) de Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno en las aguas de las tres estaciones de muestreo analizadas en el río Cruces

Las concentraciones históricas y actuales (i.e. muestreo de Enero del 2005) de Sólidos Suspendidos (totales y fracciones orgánica e inorgánica) y de Sólidos Disueltos totales en la columna de agua de las tres estaciones analizadas se presentan en la Tabla 41. La concentración de Sólidos Suspendidos totales y sus fracciones orgánica e inorgánica, encontradas en Enero del 2005 estuvieron dentro del rango de variación de los datos históricos en las tres estaciones analizadas (Tabla 41). En contraste, la concentración de Sólidos Disueltos totales encontradas en Enero del 2005 presentaron valores mayores a los registrados en la línea de base histórica (Tabla 41).

Tabla 41. Comparación de valores históricos y actuales (Enero del 2005) de la concentración de Sólidos Suspendidos (totales, orgánicos e inorgánicos) y de Sólidos Disueltos totales (mg/L) en la columna de agua de las estaciones 1, 2 y 3. Los datos históricos corresponden a muestras puntuales (n = 1) mientras que los datos de Enero del 2005 corresponden a promedios (n = 4 en estaciones 1a y 2; n = 6 en estación 3).

	Sólidos Suspendidos			Sólidos Disueltos totales
	totales mg/L	orgánico mg/L	inorgánico mg/L	mg/L
estación 1				
Jun-95	10.48	3.10	7.38	20.81
Jul-95	12.86	3.63	9.23	29.81
Ago-95	5.83	2.15	3.68	30.84
Oct-95	1.79	1.36	0.43	-----
Nov-95	1.69	0.94	0.75	-----
Dic-95	3.28	2.05	1.23	28.44
Ene-96	2.37	1.64	0.73	-----
Feb-96	3.08	1.70	1.38	-----
Sep-02	9.00	3.90	5.10	31.00
Mar-03	2.30	1.60	0.70	81.00
Sep-03	7.60	3.30	4.30	22.00
Ene-05	4.05	1.95	2.10	61.00
estación 2				
Jun-95	13.25	3.53	9.72	25.27
Jul-95	9.89	3.97	5.92	40.10
Ago-95	5.69	1.92	3.77	21.93
Oct-95	9.00	3.00	6.00	-----
Nov-95	3.88	1.95	1.93	-----
Dic-95	2.74	1.50	1.24	31.74
Ene-96	2.21	1.16	1.05	-----
Feb-96	2.71	2.09	0.62	-----
Sep-02	4.00	2.80	1.20	20.00
Mar-03	4.50	1.40	3.10	80.00
Sep-03	5.10	2.80	2.30	21.00
Ene-05	5.03	2.00	3.03	91.00
estación 3				
Jun-95	11.06	3.93	7.13	19.90
Jul-95	8.24	3.24	5.00	51.30
Ago-95	5.95	1.95	4.00	25.19
Oct-95	7.65	2.80	4.85	-----
Nov-95	4.44	2.35	2.09	-----
Dic-95	3.34	1.76	1.58	28.65
Ene-96	2.77	1.82	0.95	-----
Feb-96	2.61	2.46	0.15	-----
Sep-02	3.20	2.20	1.00	29.00
Mar-03	4.40	1.50	2.90	80.00
Sep-03	5.10	2.50	2.60	21.00
Ene-05	9.83	4.71	5.12	82.00

Las concentraciones promedios históricas y actuales (Enero del 2005) de Sólidos Suspendidos (totales, orgánicos e inorgánicos) y de Sólidos Disueltos totales en la columna de agua de las tres estaciones de muestreo se presentan en la Figura 28. Los valores promedios de la concentración de Sólidos Suspendidos (totales, orgánicos e inorgánicos) presentes en las aguas de las estaciones 1 y 2, no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las concentraciones encontradas durante el muestreo de Enero del 2005 y los datos correspondientes a la línea de base histórica (Fig. 28). En las aguas de la estación 3, las concentraciones de Sólidos Suspendidos (totales, orgánicos e inorgánicos) durante el muestreo de Enero del 2005 fueron significativamente mayores ($P < 0.05$) que los correspondientes a la línea de base histórica. En esta estación, la concentración promedio de Sólidos Suspendidos en Enero del 2005 fue de 9.83, 4.71 y 5.12 mg/L (totales, orgánicos e inorgánicos, respectivamente), los datos históricos presentaron concentraciones promedios de 5.34, 2.41 y 2.93 mg/L (totales, orgánicos e inorgánicos, respectivamente) (Fig. 28). La concentración de Sólidos Disueltos totales en las aguas de la estación 1 no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los valores de Enero del 2005 y aquellos considerados como línea de base histórica. En las aguas de las estaciones 2 y 3, los Sólidos Disueltos totales durante Enero del 2005, fueron significativamente mayores ($P < 0.059$) que aquellos de la línea de base histórica. La concentración promedio de Sólidos Disueltos totales en la estación 2 fue de 38.70 mg/L (Enero del 2005) y 91.00 mg/L (datos históricos), mientras que en la estación 3 fue de 37.47 mg/L (Enero del 2005) y de 82.00 mg/L (datos históricos) (Fig. 28).

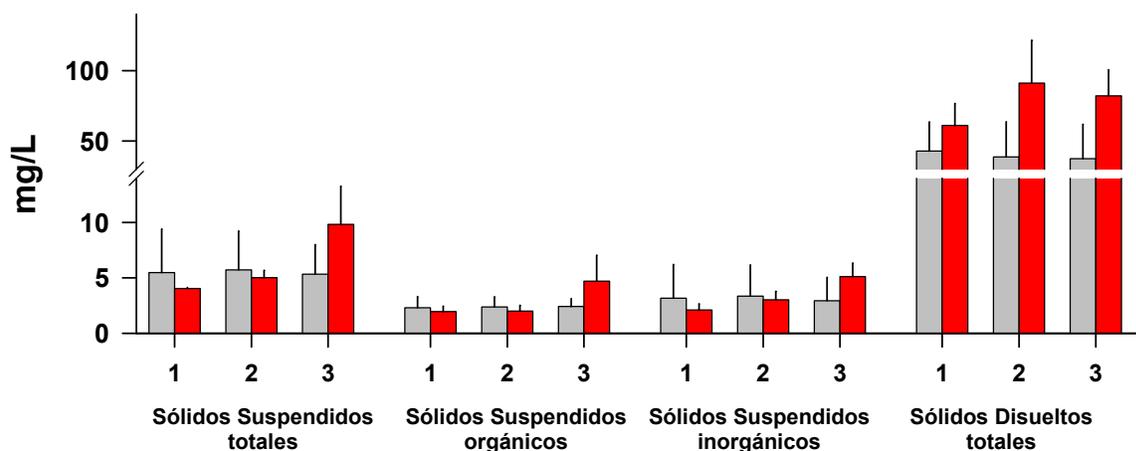


Figura 28. Promedios históricos y actuales (Enero del 2005) de la concentración (mg/L) de Sólidos Suspendidos (totales, orgánicos e inorgánicos) y Sólidos Disueltos totales en las aguas de las tres estaciones de muestreo analizadas en el río Cruces.

En la Figura 29 se presentan los resultados de los análisis de escalamiento multidimensional realizados con el objetivo de evaluar las similitudes entre los muestreos considerados históricos y el muestreo de Enero del 2005. Como fue señalado en las metodologías y debido a la ausencia de datos para algunas variables en alguno de los muestreos analizados, los análisis de escalamiento multidimensional se realizaron de tres diferentes formas; i) eliminación de las variables sin datos, ii) eliminación del muestreo y iii) reemplazo del dato faltante por el promedio histórico de dicha variable. En consecuencia, para el primer tipo de análisis se eliminaron de la matriz de variables la conductividad y las concentraciones de Sólidos Disueltos totales, Fósforo soluble y metales pesados. En el segundo tipo de análisis se eliminaron los muestreos de Agosto, Octubre y Noviembre de 1995 y Enero y Febrero de 1996,

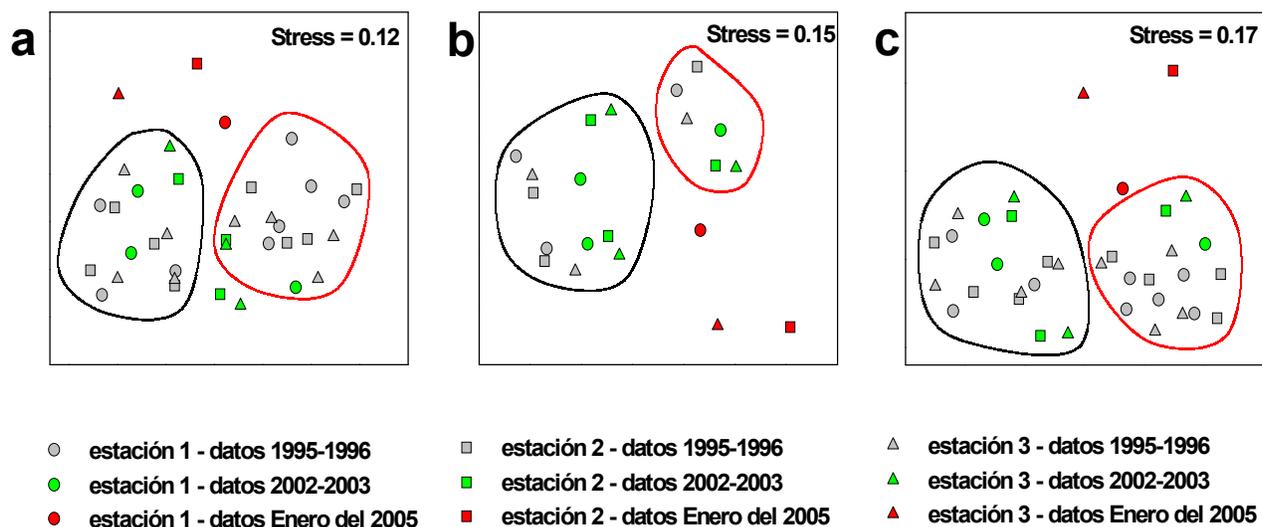


Figura 29. Resultados de los análisis de escalamiento multidimensional en base a las características fisicoquímicas de la columna de agua en el río Cruces. a = análisis realizado eliminando variables que presentan datos faltantes, b = análisis realizado eliminando muestreos que presentan datos faltantes y c = análisis realizado reemplazando datos faltantes por el promedio histórico. Para los datos históricos, arbitrariamente se han agrupado los datos correspondientes a muestreos de invierno (línea negra) y verano (línea roja).

En general e independiente de la estrategia de análisis utilizada, se observa que los muestreos de Enero del 2005 (puntos rojos) tienden a separarse del resto de los datos (i.e. datos históricos, puntos grises y verdes). La menor separación de estos puntos (i.e. puntos rojos) se observa cuando el análisis se realiza eliminando las variables que presentan datos faltantes (Fig. 29a). Esto ya que algunas de las variables eliminadas del análisis son las que presentaron las mayores diferencias entre los grupos de datos analizados (e.g. conductividad, Sólidos Disueltos, entre otros). Sin embargo, la tendencia presente en los tres análisis se mantiene.

Por otro lado, los muestreos correspondientes al período invernal en general tendieron a separarse de aquellos correspondientes al período estival (Fig. 29a, b y c). Asimismo, el muestreo de la estación 1 se encuentra relativamente cercano a los puntos correspondientes a los muestreos estivales de la línea de base histórica, esto

sugiere una mayor similitud entre la matriz de variables analizadas entre ambos grupos (i.e. datos estivales históricos y los de Enero del 2005).

Estos resultados sugieren que las similitudes en la matriz de variables utilizadas en estos análisis responderían fuertemente a la variabilidad estacional dada por la estacionalidad de esas variables. Asimismo, estos resultados sugieren que las estaciones de 2 y 3, presentan cambios significativos en la matriz de variables analizadas, correspondiendo los mayores cambios a la estación 2, aguas abajo de la descarga del efluente CELCO.

6.4.2.2. Análisis de la calidad del agua del río Cruces durante la operación de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO) en Mariquina

Los antecedentes registrados desde Abril a Diciembre del 2004 de las características de la calidad de aguas del río Cruces que se presentan en Tablas 42 a 50 corresponden a los datos de los Informes de Laboratorio asociados a los Informes Trimestrales del Programa de Monitoreo Ambiental de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO) en Mariquina.

Tabla 42, Caracterización del río Cruces y Humedal durante Abril del 2004. Datos tomados de páginas 1, 2 y 3 de Informe de Laboratorio n° 1212 del Instituto de Investigación Pesquera.

Parámetro	estación 1	estación 2	estación 3
Caudal (m ³ /s)	35.75	35.60	35.60
Temperatura (°C)	11.50	11.40	12.10
pH (⁺ H)	7.70	7.70	7.60
Conductividad (µS/cm)	55.90	97.60	33.40
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7.70	7.36	7.25
DBO ₅ (mg/L)	<1.00	<1.00	1.00
DQO (mg/L)	<40.00	<40.00	<40.00
Fósforo total (mg/L)	<0.020	<0.02	<0.02
Nitratos (mg/L)	0.034	0.04	0.03
Amonio (mg/L)	<0.004	<0.004	<0.004
Nitrógeno total (mg/L)	<0.50	<0.50	1.30
SS orgánicos (mg/L)	1.80	1.40	1.40
SS inorgánicos (mg/L)	3.80	13.40	3.40
S. Suspendidos. totales (mg/L)	5.60	14.80	4.80
Sólidos Disueltos (mg/L)	88.00	98.00	105.00
Sólidos totales (mg/L)	93.60	112.80	109.80
Aluminio (mg/L)	0.32	0.80	0.28
Arsénico (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05
Bario (mg/L)	<0.10	<0.10	<0.10
Berilio (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05
Boro (mg/L)	<0.50	<0.50	<0.50
Cadmio (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cobalto (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05
Cobre (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05
Cromo total (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05
Hierro soluble(mg/L)	0.17	0.19	0.24
Manganeso (mg/L)	0.02	0.02	0.02
Mercurio (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001
Molibdeno (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Níquel (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05
Plomo (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05
Selenio (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Vanadio (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05
Zinc (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05
ClorofenolesTotales (ng/L)	< LD	< LD	< LD
Pentaclorofenoles (ng/L)	< LD	< LD	< LD

Tabla 43. Caracterización del río Cruces y Humedal durante Mayo del 2004. Datos tomados de páginas 1 y 2 de Informe de Laboratorio n° 1267 del Instituto de Investigación Pesquera.

Parámetro	Estación 1	estación 2	Estación 3
Caudal (m ³ /s)	25.41	25.24	25.24
Temperatura (°C)	9.90	9.90	9.90
pH (+H)	6.60	6.60	6.60
Conductividad (μS/cm)	42.60	96.80	80.50
Oxígeno Disuelto (mg/L)	8.51	7.22	7.71
DBO ₅ (mg/L)	9.20	19.30	15.10
DQO (mg/L)	33.28	33.28	33.28
Fósforo total (mg/L)	<0.02	0.03	0.03
Nitratos (mg/L)	-----	-----	-----
Amonio (mg/L)	-----	-----	-----
Nitrógeno total (mg/L)	0.30	0.32	0.31
SS orgánico (mg/L)	0.00	0.00	0.00
SS inorgánico (mg/L)	4.17	5.00	5.83
S. Suspendidos (mg/L)	4.17	5.00	5.83
S. Disueltos (mg/L)	60.00	122.00	118.00
Sólidos Totales (mg/L)	64.17	127.00	123.83
Aluminio (mg/L)	<0.06	<0.06	<0.06
Arsénico (mg/L)	-----	-----	-----
Bario (mg/L)	-----	-----	-----
Berilio (mg/L)	-----	-----	-----
Boro (mg/L)	-----	-----	-----
Cadmio (mg/L)	-----	-----	-----
Cobalto (mg/L)	-----	-----	-----
Cobre (mg/L)	-----	-----	-----
Cromo total (mg/L)	-----	-----	-----
Hierro soluble (mg/L)	-----	-----	-----
Manganeso (mg/L)	-----	-----	-----
Mercurio (mg/L)	-----	-----	-----
Molibdeno (mg/L)	-----	-----	-----
Níquel (mg/L)	-----	-----	-----
Plomo (mg/L)	-----	-----	-----
Selenio (mg/L)	-----	-----	-----
Vanadio (mg/L)	-----	-----	-----
Zinc (mg/L)	-----	-----	-----
ClorofenolesTotales (ng/L)	<20.00	<20.00	<20.00
Pentaclorofenoles (ng/L)	<20.00	<20.00	<20.00

Tabla 44. Caracterización del río Cruces y Humedal durante Junio del 2004. Datos tomados de páginas 1, 2 y 3 de Informe de Laboratorio n° 1325 del Instituto de Investigación Pesquera.

Parámetro	estación 1	estación 2	estación 3
Caudal (m ³ /s)	107.21	107.02	107.02
Temperatura (°C)	9.00	9.00	8.80
pH (+H)	7.31	7.33	7.04
Conductividad (µS/cm)	28.60	74.10	52.50
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7.17	7.21	5.91
DBO ₅ (mg/L)	<1.00	1.00	1.00
DQO (mg/L)	<1.00	1.50	1.53
Fósforo total (mg/L)I	0.10	0.10	0.05
Nitratos (mg/L)	-----	-----	-----
Amonio (mg/L)	-----	-----	-----
Nitrógeno total (mg/L)	0.96	1.05	1.28
SS orgánico (mg/L)	0.00	0.00	0.00
SS inorgánico (mg/L)	13.99	14.99	3.99
S Suspendidos (mg/L)	13.99	14.99	3.99
S Disueltos (mg/L)	84.00	110.00	82.00
Sólidos Totales (mg/L)	97.99	124.99	85.99
Aluminio (mg/L)	0.34	<0.06	<0.06
Arsénico (mg/L)	-----	-----	-----
Bario (mg/L)	-----	-----	-----
Berilio (mg/L)	-----	-----	-----
Boro (mg/L)	-----	-----	-----
Cadmio (mg/L)	-----	-----	-----
Cobalto (mg/L)	-----	-----	-----
Cobre (mg/L)	-----	-----	-----
Cromo total (mg/L)	-----	-----	-----
Hierro soluble (mg/L)	-----	-----	-----
Manganeso (mg/L)	-----	-----	-----
Mercurio (mg/L)	-----	-----	-----
Molibdeno (mg/L)	-----	-----	-----
Níquel (mg/L)	-----	-----	-----
Plomo (mg/L)	-----	-----	-----
Selenio (mg/L)	-----	-----	-----
Vanadio (mg/L)	-----	-----	-----
Zinc (mg/L)	-----	-----	-----
ClorofenolesTotales (ng/L)	<20.00	<20.00	<20.00
Pentaclorofenoles (ng/L)	<20.00	<20.00	<20.00

Tabla 45. Caracterización del río Cruces y Humedal durante Julio del 2004. Datos tomados de páginas 1, 2, 3 y 4 de Informe de Laboratorio n° 1373<1 del Instituto de Investigación Pesquera.

Parámetro	estación 1	estación 2	estación 3
Caudal (m ³ /s)	287.65	287.60	287.60
Temperatura (°C)	10.10	9.00	8.50
pH (⁺ H)	7.23	7.11	7.10
Conductividad (μS/cm)	29.30	40.50	33.00
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7.13	6.74	7.16
DBO ₅ (mg/L)	<1.00	<1.00	1.00
DQO (mg/L)	3.30	3.30	6.50
Fósforo total (mg/L)	0.01	0.03	0.09
Nitratos (mg/L)	0.23	0.30	0.21
Amonio (mg/L)	0.05	<0.05	<0.05
Nitrógeno total (mg/L)	0.20	<0.10	<0.10
SS orgánico (mg/L)	0.00	0.00	0.00
SS inorgánico (mg/L)	1.99	2.39	1.39
S Suspendidos (mg/L)	1.99	2.39	1.39
S Disueltos (mg/L)	86.00	88.00	66.00
Sólidos Totales (mg/L)	87.99	90.39	67.39
Aluminio (mg/L)	0.31	0.28	0.36
Arsénico (mg/L)	0.00	0.00	0.00
Bario (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Berilio (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Boro (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cadmio (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cobalto (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cobre (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cromo total (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001
Hierro soluble (mg/L)	0.04	0.06	0.05
Manganeso (mg/L)	0.03	0.03	0.03
Mercurio (mg/L)	<0.00	<0.00	<0.00
Molibdeno (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Níquel (mg/L)	0.01	0.01	0.01
Plomo (mg/L)	<0.00	<0.00	<0.00
Selenio (mg/L)	<0.00	<0.00	<0.00
Vanadio (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Zinc (mg/L)	0.01	0.03	0.03
ClorofenolesTotales (ng/L)	<2.00	<2.00	<2.00
Pentaclorofenoles (ng/L)	<20.00	<20.00	<20.00

Tabla 46, Caracterización del río Cruces y Humedal durante Agosto del 2004. Datos tomados de páginas 1, 2 y 3 de Informe de Laboratorio n° 1444<1 del Instituto de Investigación Pesquera.

Parámetro	estación 1	estación 2	estación 3
Caudal (m ³ /s)	81.21	81.00	81.00
Temperatura (°C)	10.10	9.00	8.50
pH (+H)	6.90	6.50	6.50
Conductividad (µS/cm)	27.20	62.40	63.30
Oxígeno Disuelto (mg/L)	6.87	6.37	5.97
DBO ₅ (mg/L)	<1.00	<1.00	1.00
DQO (mg/L)	<20.00	<20.00	<20.00
Fósforo total (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02
Nitratos (mg/L)	-----	-----	-----
Amonio (mg/L)	-----	-----	-----
Nitrógeno total (mg/L)	0.20	0.10	0.10
SS orgánico (mg/L)	0.00	0.00	0.00
SS inorgánico (mg/L)	8.66	8.66	13.99
S Suspendidos (mg/L)	8.66	8.66	13.99
S Disueltos (mg/L)	66.00	102.00	100.00
Sólidos Totales (mg/L)	74.66	110.66	113.99
Aluminio (mg/L)	0.13	0.24	0.12
Arsénico (mg/L)	-----	-----	-----
Bario (mg/L)	-----	-----	-----
Berilio (mg/L)	-----	-----	-----
Boro (mg/L)	-----	-----	-----
Cadmio (mg/L)	-----	-----	-----
Cobalto (mg/L)	-----	-----	-----
Cobre (mg/L)	-----	-----	-----
Cromo total (mg/L)	-----	-----	-----
Hierro soluble (mg/L)	-----	-----	-----
Manganeso (mg/L)	-----	-----	-----
Mercurio (mg/L)	-----	-----	-----
Molibdeno (mg/L)	-----	-----	-----
Níquel (mg/L)	-----	-----	-----
Plomo (mg/L)	-----	-----	-----
Selenio (mg/L)	-----	-----	-----
Vanadio (mg/L)	-----	-----	-----
Zinc (mg/L)	-----	-----	-----
ClorofenolesTotales (ng/L)	<2.00	<2.00	<2.00
Pentaclorofenoles (ng/L)	<0.02	<0.02	<0.02

Tabla 47, Caracterización del río Cruces y Humedal durante Septiembre del 2004. Datos tomados de páginas 1, 2, 3 y 4 de Informe de Laboratorio n° 1493<1 del Instituto de Investigación Pesquera.

Parámetro	estación 1	estación 2	estación 3
Caudal (m ³ /s)	99.84	99.70	99.70
Temperatura (°C)	10.00	9.90	11.00
pH (⁺ H)	7.41	7.45	6.92
Conductividad (μS/cm)	31.40	50.80	45.50
Oxígeno Disuelto (mg/L)	11.10	10.20	10.30
DBO ₅ (mg/L)	1.30	1.50	2.50
DQO (mg/L)	<20.00	<20.00	<20.00
Fósforo total (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02
Nitratos (mg/L)	-----	-----	-----
Amonio (mg/L)	-----	-----	-----
Nitrógeno total (mg/L)	<1.00	33.00	0.53
SS orgánico (mg/L)	0.001	0.00	0.00
SS inorgánico (mg/L)	3.99	5.99	12.99
S Suspendidos (mg/L)	3.99	5.99	12.99
S Disueltos (mg/L)	96.00	98.00	104.00
Sólidos Totales (mg/L)	99.99	103.99	116.99
Aluminio (mg/L)	0.25	0.21	0.18
Arsénico (mg/L)	-----	-----	-----
Bario (mg/L)	-----	-----	-----
Berilio (mg/L)	-----	-----	-----
Boro (mg/L)	-----	-----	-----
Cadmio (mg/L)	-----	-----	-----
Cobalto (mg/L)	-----	-----	-----
Cobre (mg/L)	-----	-----	-----
Cromo total (mg/L)	-----	-----	-----
Hierro soluble (mg/L)	-----	-----	-----
Manganeso (mg/L)	-----	-----	-----
Mercurio (mg/L)	-----	-----	-----
Molibdeno (mg/L)	-----	-----	-----
Níquel (mg/L)	-----	-----	-----
Plomo (mg/L)	-----	-----	-----
Selenio (mg/L)	-----	-----	-----
Vanadio (mg/L)	-----	-----	-----
Zinc (mg/L)	-----	-----	-----
ClorofenolesTotales (ng/L)	<2.00	<2.00	<2.00
Pentaclorofenoles (ng/L)	<20.00	<20.00	<20.00

Tabla 48, Caracterización del río Cruces y Humedal durante Octubre del 2004. Datos tomados de páginas 1 y 2 de Informe de Laboratorio n° 1520<1 del Instituto de Investigación Pesquera. Programa de Monitoreo Ambiental CELCO. Informe elaborado por el Instituto de Investigación Pesquera (Noviembre del 2004).

Parámetro	estación 1	estación 2	estación 3
Caudal (m ³ /s)	39.05	38.90	38.90
Temperatura (°C)	12.50	13.00	14.00
pH (⁺ H)	7.49	7.40	7.33
Conductividad (µS/cm)	40.50	86.20	117.80
Oxígeno Disuelto (mg/L)	9.94	10.01	10.09
DBO ₅ (mg/L)	0.50	1.20	0.50
DQO (mg/L)	<20.00	<20.00	<20.00
Fósforo total (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02
Nitratos (mg/L)	0.11	<0.10	<0.10
Amonio (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05
Nitrógeno total (mg/L)	<0.10	<0.10	<0.10
SS orgánico (mg/L)	0.00	0.00	0.00
SS inorgánico (mg/L)	<1.00	<1.00	2.00
S Suspendidos (mg/L)	1.00	<1.00	2.00
S Disueltos (mg/L)	62.00	88.00	78.00
Sólidos Totales (mg/L)	63.00	89.00	80.00
Aluminio (mg/L)	0.05	0.10	0.05
Arsénico (mg/L)	<0.00	<0.001	<0.001
Bario (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Berilio (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Boro (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cadmio (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cobalto (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cobre (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cromo total (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001
Hierro soluble (mg/L)	0.13	0.22	0.23
Manganeso (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Mercurio (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001
Molibdeno (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Níquel (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Plomo (mg/L)	<0.00	<0.001	<0.001
Selenio (mg/L)	<0.00	<0.001	<0.001
Vanadio (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Zinc (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
ClorofenolesTotales (ng/L)	<2.00	<2.00	<2.00
Pentaclorofenoles (ng/L)	<20.00	<20.00	<20.00

Tabla 49. Caracterización del río Cruces y Humedal durante Noviembre del 2004. Datos tomados de páginas 1, 2, 3 y 4 de Informe de Laboratorio n° 1571<1 del Instituto de Investigación Pesquera.

Parámetro	estación 1	estación 2	estación 3
Caudal (m ³ /s)	59.07	59.00	59.00
Temperatura (°C)	14.30	14.80	15.30
pH (+H)	6.89	6.86	6.91
Conductividad (µS/cm)	90.40	76.30	35.60
Oxígeno Disuelto (mg/L)	8.24	9.20	9.01
DBO ₅ (mg/L)	1.10	1.20	<1.00
DQO (mg/L)	<20.00	<20.00	23.10
Fósforo total (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02
Nitratos (mg/L)	-----	-----	-----
Amonio (mg/L)	-----	-----	-----
Nitrógeno total (mg/L)	0.17	<0.10	0.22
SS orgánicos (mg/L)	0.003	0.00	0.002
SS inorgánicos (mg/L)	1.70	6.30	4.00
Sol. Suspendidos totales (mg/L)	1.70	6.30	4.00
Sólidos Disueltos (mg/L)	8.00	84.00	20.00
Sólidos totales (mg/L)	9.70	90.30	24.00
Aluminio (mg/L)	0.16	0.18	0.08
Arsénico (mg/L)	-----	-----	-----
Bario (mg/L)	-----	-----	-----
Berilio (mg/L)	-----	-----	-----
Boro (mg/L)	-----	-----	-----
Cadmio (mg/L)	-----	-----	-----
Cobalto (mg/L)	-----	-----	-----
Cobre (mg/L)	-----	-----	-----
Cromo total (mg/L)	-----	-----	-----
Hierro soluble (mg/L)	-----	-----	-----
Manganeso (mg/L)	-----	-----	-----
Mercurio (mg/L)	-----	-----	-----
Molibdeno (mg/L)	-----	-----	-----
Níquel (mg/L)	-----	-----	-----
Plomo (mg/L)	-----	-----	-----
Selenio (mg/L)	-----	-----	-----
Vanadio (mg/L)	-----	-----	-----
Zinc (mg/L)	-----	-----	-----
ClorofenolesTotales (ng/L)	<2.00	<2.00	<2.00
Pentaclorofenoles (ng/L)	<20.00	<20.00	<20.00

Tabla 50. Caracterización del río Cruces y Humedal durante Diciembre del 2004. Datos tomados de páginas 1, 2, 3 y 4 de Informe de Laboratorio n° 1617<1 del Instituto de Investigación Pesquera.

Parámetro	estación 1	estación 2	estación 3
Caudal (m ³ /s)	32.92	32.90	32.90
Temperatura (°C)	10.00	14.00	10.10
pH (+H)	6.82	7.06	7.65
Conductividad (µS/cm)	37.50	117.00	94.80
Oxígeno Disuelto (mg/L)	9.22	9.80	9.08
DBO ₅ (mg/L)	8.60	8.60	5.70
DQO (mg/L)	<20.00	<20.00	24.80
Fósforo total (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02
Nitratos (mg/L)	<0.10	<0.10	<0.10
Amonio (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05
Nitrógeno total (mg/L)	0.20	0.17	0.25
SS orgánicos (mg/L)	0.001	0.001	0.001
SS inorgánicos (mg/L)	6.00	12.40	9.20
S. Suspendidos. totales (mg/L)	6.00	12.40	9.20
Sólidos Disueltos (mg/L)	160.00	152.00	122.00
Sólidos totales (mg/L)	166.00	164.40	131.20
Aluminio (mg/L)	0.09	0.46	0.32
Arsénico (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Bario (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Berilio (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Boro (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cadmio (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cobalto (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cobre (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Cromo total (mg/L)	<0.001	<0.00	<0.00
Hierro soluble (mg/L)	0.14	0.25	0.29
Manganeso (mg/L)	0.03	0.02	0.05
Mercurio (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001
Molibdeno (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Níquel (mg/L)	0.01	0.01	0.06
Plomo (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001
Selenio (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001
Vanadio (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
Zinc (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01
ClorofenolesTotales (ng/L)	<2.00	<2.00	<2.00
Pentaclorofenoles (ng/L)	<20.00	<20.00	<20.00

En Tabla 42 (Abril del 2004) se observa que los parámetros que registraron un incremento entre estación 1 y estación 2 corresponden a conductividad (de 55.9 a 97.6 $\mu\text{S/cm}$), Sólidos Suspendedos inorgánicos (de 3.8 a 13.4 mg/L), Sólidos Disueltos (de 88 a 98 mg/L) y la concentración de Hierro soluble (de 0.17 a 0.19 mg/L).

En Tabla 43 (Mayo del 2004) se observa que los parámetros que registraron un incremento entre estación 1 y estación 2 corresponden a conductividad (de 42.6 a 96.8 $\mu\text{S/cm}$), Demanda Bioquímica de Oxígeno (9.2 a 19.3 mg/L) y Sólidos Disueltos (de 60 a 122 mg/L).

En Tabla 44 (Junio del 2004) se observa que los parámetros que registraron un incremento entre estación 1 y estación 2 corresponden a conductividad (de 28.6 a 74.1 $\mu\text{S/cm}$) y Sólidos Disueltos (de 84 a 110 mg/L).

En Tabla 45 (Julio del 2004) se observa que el parámetro que mostró un incremento entre estación 1 y estación 2 corresponde a la conductividad (de 29.3 a 40.5 $\mu\text{S/cm}$).

En Tabla 46 (Agosto del 2004) se observa que los parámetros que mostraron un incremento entre estación 1 y estación 2 corresponden a conductividad (de 27.2 a 62.4 $\mu\text{S/cm}$), Sólidos Disueltos (de 66 a 102 mg/L) y Aluminio (de 0.13 a 0.24 mg/L).

En Tabla 47 (Septiembre del 2004) se observa que los parámetros que mostraron un incremento entre estación 1 y estación 2 corresponden a conductividad (de 31.4 a 50.8 $\mu\text{S/cm}$) y Nitrógeno total (de <1 a 33 mg/L). Mientras que los Sólidos Disueltos son similares en ambas estaciones.

En Tabla 48 (Octubre del 2004) se observa que los parámetros que presentaron incrementos entre estación 1 y estación 2 corresponden a conductividad (de 40.5 a 86.2 $\mu\text{S/cm}$), Sólidos Disueltos (de 62 a 88 mg/L), Aluminio (de 0.05 a 0.10 mg/L) y Hierro soluble (de 0.13 a 0.22 mg/L).

En Tabla 49 (Noviembre del 2004) se observa que el parámetro que registra un incremento entre estación 1 y estación 2 corresponde a Sólidos Disueltos (de 8 a 84 mg/L). Mientras que la conductividad que mantenía un incremento desde Abril a Octubre del 2004 muestra un descenso de 90.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en estación 1 a 76.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en estación 2.

En Tabla 50 (Diciembre del 2004) se observa que los parámetros que registraron un incremento entre estación 1 y estación 2 corresponden a conductividad (de 37.5 a 117 $\mu\text{S}/\text{cm}$), Sólidos Suspendidos inorgánicos (de 6 a 12.4 mg/L) y Hierro soluble (de 0.14 a 0.25 mg/L). Los Sólidos Disueltos que mayoritariamente presentaban incremento a excepción de Octubre del 2004, se mantienen constantes entre las estaciones 1 y 2 (166 y 164.4 mg/L, respectivamente).

En Tablas 51, 52 y 53, se presenta la caracterización fisicoquímica de la columna de agua de las tres estaciones del río Cruces analizadas durante el período Abril a Diciembre del 2004 y se comparan con los datos obtenidos en el muestreo de Enero del 2005.

Tabla 51. Comparación de las características fisicoquímicas de la columna de agua en la estación 1 entre los muestreos de Abril a Diciembre del 2004 con las encontradas en Enero del 2005.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero 2005
Caudal (m ³ /s)	35.75	25.41	107.21	287.65	81.21	99.84	39.05	59.07	32.92	21.13
Temperatura (°C)	11.50	9.90	9.00	10.10	10.10	10.00	12.50	14.30	10.00	16.90
pH	7.70	6.60	7.31	7.23	6.90	7.41	7.49	6.89	6.82	6.83
Conductividad (μS/cm)	55.90	42.60	28.60	29.30	27.20	31.40	40.50	90.40	37.50	39.61
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7.70	8.51	7.17	7.13	6.87	11.10	9.94	8.24	9.22	9.31
DBO ₅ (mg/L)	<1.00	9.20	<1.00	<1.00	<1.00	1.30	0.50	1.10	8.60	3.00
DQO (mg/L)	<40.00	33.28	<1.00	3.30	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	14.25
Fósforo total (mg/L)	<0.02	<0.02	0.10	0.01	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.04
Nitratos (mg/L)	0.03	-----	-----	0.23	-----	-----	0.11	-----	<0.10	0.06
Amonio (mg/L)	<0.001	-----	-----	0.05	-----	-----	<0.05	-----	<0.05	0.03
Nitrógeno total (mg/L)	<0.50	0.30	0.96	0.20	0.20	<1.00	<0.10	0.17	0.20	0.13
SS orgánico (mg/L)	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.95
SS inorgánico (mg/L)	3.80	4.17	13.99	1.99	8.66	3.99	<1.00	1.70	6.00	2.10
S Suspendidos totales (mg/L)	5.60	4.17	13.99	1.99	8.66	3.99	1.00	1.70	6.00	4.05
Sólidos Disueltos (mg/L)	88.00	60.00	84.00	86.00	66.00	96.00	62.00	8.00	160.00	60.99
Sólidos totales (mg/L)	93.60	64.17	97.99	87.99	74.66	99.99	63.00	9.70	166.00	65.04
Aluminio (mg/L)	0.32	<0.06	0.34	0.31	0.13	0.25	0.05	0.16	0.09	-----
Arsénico (mg/L)	<0.05	-----	-----	0.001	-----	-----	<0.001	-----	<0.01	-----
Bario (mg/L)	<0.10	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Berilio (mg/L)	0.05	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Boro (mg/L)	<0.50	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Cadmio (mg/L)	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	<0.0006
Cobalto (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Cobre (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	0.01
Cromo total (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.004	-----	-----	<0.004	-----	<0.004	<0.002
Hierro soluble (mg/L)	0.17	-----	-----	0.04	-----	-----	0.13	-----	0.14	0.15
Manganeso (mg/L)	0.02	-----	-----	0.03	-----	-----	<0.01	-----	0.03	0.02
Mercurio (mg/L)	<0.001	-----	-----	<0.001	-----	-----	<0.001	-----	<0.001	<0.001
Molibdeno (mg/L)	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Níquel (mg/L)	<0.05	-----	-----	0.01	-----	-----	<0.01	-----	0.01	<0.002
Plomo (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.002	-----	-----	<0.002	-----	<0.002	<0.001
Selenio (mg/L)	<0.01	-----	-----	<0.001	-----	-----	<0.000004	-----	<0.004	-----
Vanadio (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Zinc (mg/L)	<0.05	-----	-----	0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	0.01
Clorofenoles Totales (ng/L)	<LD	<20.00	<20.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	-----
Pentaclorofenoles (ng/L)	<LD	<20.00	<20.00	<20.00	<0.02	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	-----

Tabla 52. Comparación de las características fisicoquímicas de la columna de agua en la estación 2 entre los muestreos de Abril a Diciembre del 2004 con las encontradas en Enero del 2005.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero 2005
Caudal (m ³ /s)	35.60	25.24	107.02	287.60	81.00	99.70	38.90	59.00	32.90	21.13
Temperatura (°C)	11.40	9.90	9.00	9.00	9.00	9.90	13.00	14.80	14.00	17.08
pH	7.70	6.60	7.33	7.11	6.50	7.45	7.40	6.86	7.06	6.84
Conductividad (μS/cm)	97.60	96.80	74.10	40.50	62.40	50.80	86.20	76.30	117.00	145.61
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7.36	7.22	7.21	6.74	6.37	10.20	10.01	9.20	9.80	8.59
DBO ₅ (mg/L)	<1.00	19.30	1.00	<1.00	<1.00	1.50	1.20	1.20	8.60	7.68
DQO (mg/L)	<40.00	33.28	1.50	3.30	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	25.75
Fósforo total (mg/L)	<0.02	0.03	0.10	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.06
Nitratos (mg/L)	0.04	-----	-----	0.30	-----	-----	<0.10	-----	<0.10	0.06
Amonio (mg/L)	<0.004	-----	-----	<0.05	-----	-----	<0.05	-----	<0.05	0.02
Nitrógeno total (mg/L)	<0.50	0.32	1.05	<0.10	0.10	33.00	<0.10	<0.10	0.17	0.12
SS orgánico (mg/L)	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001	0.00	0.00	2.00
SS inorgánico (mg/L)	13.40	5.00	14.99	2.39	8.66	5.99	<1.00	6.30	12.40	3.03
S Suspendidos totales (mg/L)	14.80	5.00	14.99	2.39	8.66	5.99	<1.00	6.30	12.40	5.03
Sólidos Disueltos (mg/L)	98.00	122.00	110.00	88.00	102.00	98.00	88.00	84.00	152.00	91.00
Sólidos totales (mg/L)	112.80	127.00	124.99	90.39	110.66	103.99	89.00	90.30	164.40	96.03
Aluminio (mg/L)	0.80	<0.06	<0.06	0.28	0.24	0.21	0.10	0.18	0.46	-----
Arsénico (mg/L)	<0.05	-----	-----	0.001	-----	-----	<0.001	-----	<0.01	-----
Bario (mg/L)	<0.10	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Berilio (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Boro (mg/L)	<0.50	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Cadmio (mg/L)	<0.01	-----	-----	<0.005	-----	-----	<0.005	-----	<0.005	-----
Cobalto (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Cobre (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	0.01
Cromo total (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.004	-----	-----	<0.004	-----	<0.004	<0.002
Hierro soluble (mg/L)	0.19	-----	-----	0.06	-----	-----	0.22	-----	0.25	0.32
Manganeso (mg/L)	0.02	-----	-----	0.03	-----	-----	<0.01	-----	0.02	0.007
Mercurio (mg/L)	<0.001	-----	-----	<0.001	-----	-----	<0.001	-----	<0.001	<0.0006
Molibdeno (mg/L)	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Níquel (mg/L)	<0.05	-----	-----	0.01	-----	-----	<0.01	-----	0.01	<0.002
Plomo (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.002	-----	-----	<0.002	-----	<0.002	<0.0008
Selenio (mg/L)	<0.01	-----	-----	<0.001	-----	-----	<0.000004	-----	<0.004	-----
Vanadio (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Zinc (mg/L)	<0.05	-----	-----	0.03	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	0.01
Clorofenoles Totales (ng/L)	<LD	<20.00	<20.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	-----
Pentaclorofenoles (ng/L)	<LD	<20.00	<20.00	<20.00	<0.02	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	-----

Tabla 53. Comparación de las características fisicoquímicas de la columna de agua en la estación 3 entre los muestreos de Abril a Diciembre del 2004 con las encontradas en Enero del 2005.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero 2005
Caudal (m ³ /s)	35.60	25.24	107.02	287.60	81.00	99.70	38.90	59.00	32.90	21.13
Temperatura (°C)	12.10	9.90	8.80	8.50	8.50	11.00	14.00	15.30	10.10	20.33
pH	7.60	6.60	7.04	7.10	6.50	6.92	7.33	6.91	7.65	7.15
Conductividad (μS/cm)	33.40	80.50	52.50	33.00	63.30	45.50	117.80	35.60	94.80	85.95
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7.25	7.71	5.91	7.16	5.97	10.30	10.09	9.01	9.08	7.43
DBO ₅ (mg/L)	1.00	15.10	1.00	1.00	1.00	2.50	0.50	<1.00	5.70	5.43
DQO (mg/L)	<40.00	33.28	1.53	6.50	<20.00	<20.00	<20.00	23.10	24.80	11.00
Fósforo total (mg/L)	<0.02	0.03	0.05	0.09	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.05
Nitratos (mg/L)	0.04	-----	-----	0.21	-----	-----	<0.10	-----	<0.10	0.08
Amonio (mg/L)	<0.004	-----	-----	<0.05	-----	-----	<0.05	-----	<0.05	0.06
Nitrógeno total (mg/L)	1.30	0.31	1.28	<0.10	0.10	0.53	<0.10	0.22	0.25	0.27
SS orgánico (mg/L)	1.40	0.001	0.0004	0.001	0.001	0.00	0.001	0.002	0.00	4.70
SS inorgánico (mg/L)	3.40	5.83	3.99	1.39	13.99	12.99	2.00	4.00	9.20	5.12
S Suspendidos totales (mg/L)	4.80	5.83	3.99	1.39	13.99	12.99	2.00	4.00	9.20	9.83
Sólidos Disueltos (mg/L)	105.00	118.00	82.00	66.00	100.00	104.00	78.00	20.00	122.00	82.00
Sólidos totales (mg/L)	109.80	123.83	85.99	67.39	113.99	116.99	80.00	24.00	131.20	91.83
Aluminio (mg/L)	0.28	<0.06	<0.06	0.36	0.12	0.18	0.05	0.08	0.32	-----
Arsénico (mg/L)	<0.05	-----	-----	0.0005	-----	-----	<0.0005	-----	<0.006	-----
Bario (mg/L)	<0.10	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Berilio (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Boro (mg/L)	<0.50	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Cadmio (mg/L)	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	<0.0001
Cobalto (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Cobre (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	0.02
Cromo total (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.004	-----	-----	<0.004	-----	<0.004	<0.002
Hierro soluble (mg/L)	0.24	-----	-----	0.05	-----	-----	0.23	-----	0.29	0.33
Manganeso (mg/L)	0.02	-----	-----	0.03	-----	-----	<0.01	-----	0.05	0.042
Mercurio (mg/L)	<0.0010	-----	-----	<0.0010	-----	-----	<0.0010	-----	<0.001	<0.0006
Molibdeno (mg/L)	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Níquel (mg/L)	<0.05	-----	-----	0.01	-----	-----	<0.01	-----	0.06	<0.0053
Plomo (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.002	-----	-----	<0.002	-----	<0.002	<0.0008
Selenio (mg/L)	<0.01	-----	-----	<0.001	-----	-----	<0.000004	-----	<0.004	-----
Vanadio (mg/L)	<0.05	-----	-----	<0.01	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	-----
Zinc (mg/L)	<0.05	-----	-----	0.03	-----	-----	<0.01	-----	<0.01	0.02
Clorofenoles Totales (ng/L)	<LD	<20.00	<20.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	-----
Pentaclorofenoles (ng/L)	<LD	<20.00	<20.00	<20.00	<0.02	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	-----

En la Figura 30 se observa que la conductividad aumenta, a excepción de Noviembre del 2004, en todo el período analizado en la estación 2, después de la descarga del Efluente CELCO; mientras que la tendencia central de la estación 3 muestra un descenso, pero manteniéndose mayoritariamente sobre los valores registrados en la estación 1. La media del período en la estación 1 fue de de 42.3 $\mu\text{S/cm}$, se incrementa a 84.73 $\mu\text{S/cm}$ en la estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO) y desciende a 64.24 $\mu\text{S/cm}$ en la estación 3, Ingreso Humedal.

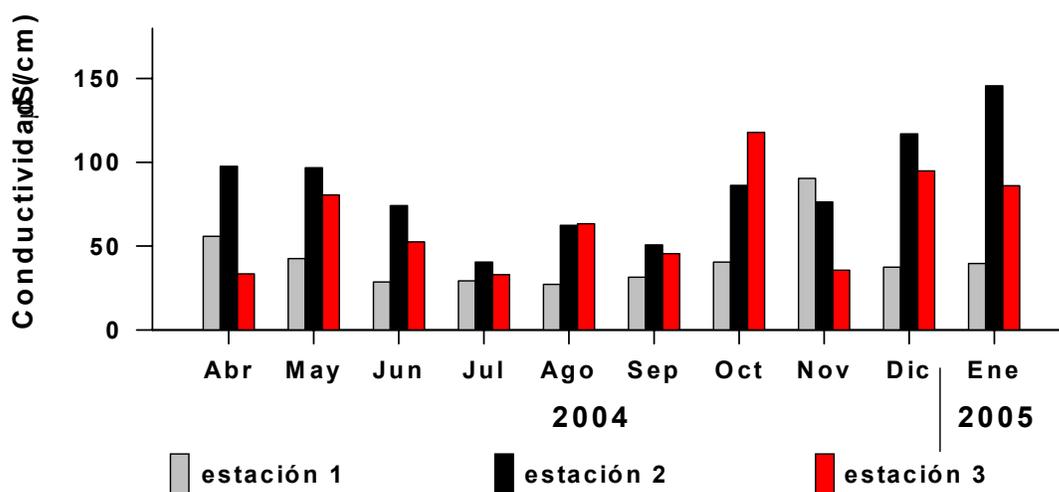


Figura 30. Variabilidad temporal de la conductividad ($\mu\text{S/cm}$) del agua durante el período Abril a Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces. Se entrega además los valores de conductividad encontradas en Enero del 2005.

En la Figura 31 se observa que la concentración de Oxígeno Disuelto fue levemente menor en la estación 2 respecto a la estación 1, a excepción de los resultados correspondientes a los muestreos de Noviembre y Diciembre del 2004; manteniendo valores menores en la estación 3. La media del período en la estación 1 fue de 8.52 mg/L, de 8.27 mg/L en la estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO) y desciende a 7.99 mg/L en la estación 3

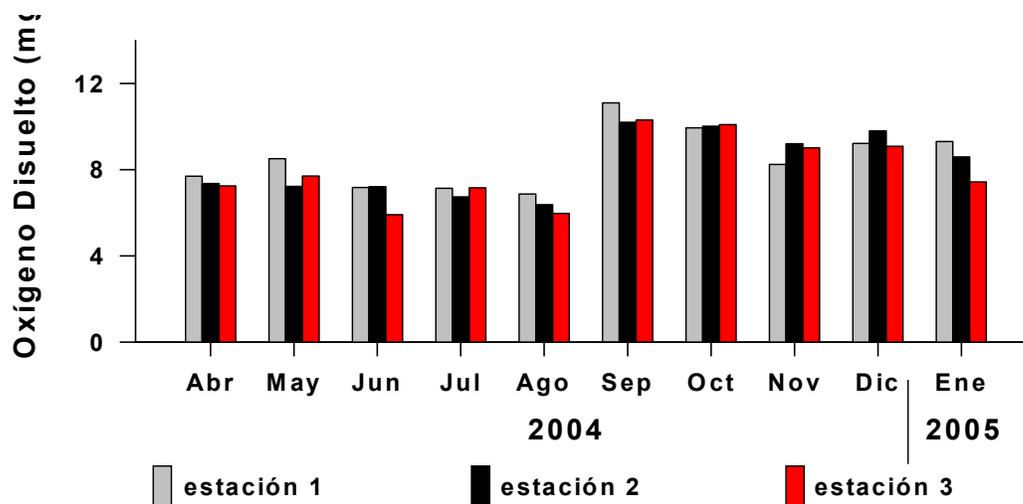


Figura 31. Variabilidad temporal de la concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) en el agua durante el período Abril a Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces. Se entregan además las concentraciones encontradas en Enero del 2005.

En la Figura 32 se observa que la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) es similar entre las tres estaciones, a excepción de los resultados de los meses de Abril del 2004 y Enero del 2005. La media de la DBO_5 del período en la estación 1 fue de 2.77 mg/L, asciende a 4.35 mg/L en la estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO) y desciende a 3.42 mg/L en la estación 3.

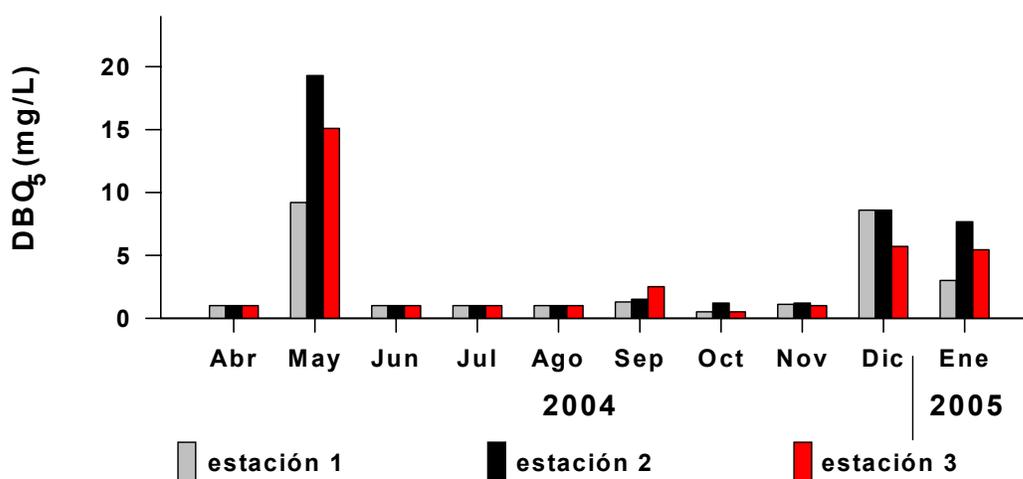


Figura 32. Variabilidad de la concentración de la DBO_5 (mg/L) en el agua durante el período Abril a Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces. Se entregan además las concentraciones encontradas en Enero del 2005.

En la Figura 33 se observa que la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) fue similar entre las tres estaciones, a excepción del mes de Enero del 2005, donde se observa un incremento en la estación 2. La media de la DQO del período en la estación 1 fue de 19.18 mg/L, en la estación 2 fue de 20.38 mg/L y en la estación 3 de 20.02 mg/L.

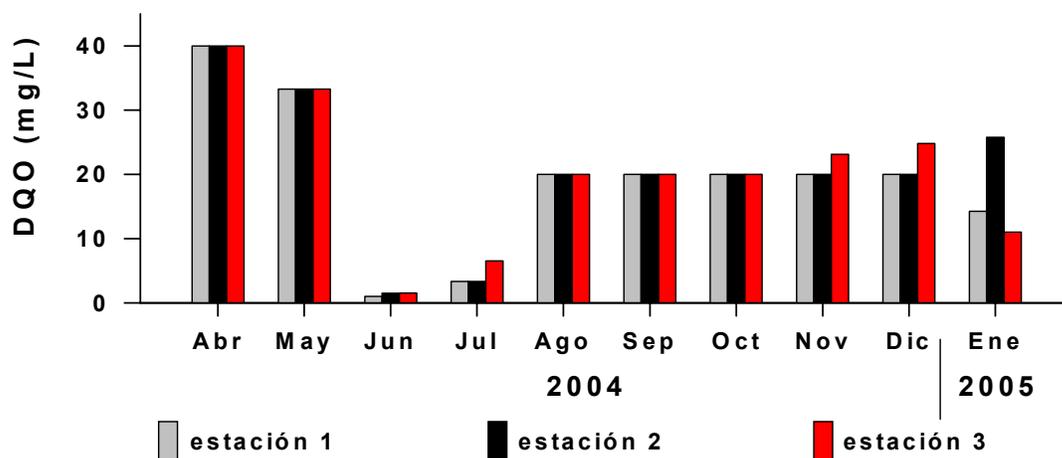


Figura 33. Variabilidad temporal de la concentración de la DQO (mg/L) en el agua durante el período Abril a Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces. Se entregan además las concentraciones encontradas en Enero del 2005.

En la Figura 34 se observa que la concentración de Nitrógeno total (Nt) es similar entre las tres estaciones, a excepción de los resultados del mes de Septiembre del 2004, donde se observó un alto valor de Nitrógeno en la estación 2 (i.e. valor de 33.00 mg/L), después de la descarga del Ril. La media de la concentración de Nitrógeno total del período analizado en la estación 1 fue de 0.38 mg/L, se incrementó a 3.56 mg/L en la estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO) y luego aguas abajo desciende a 0.45 mg/L en la estación 3. Como fue mencionado, llama la atención el alto valor de Nitrógeno en la estación 2 durante Septiembre del 2004, por lo que este dato debería ser considerado con cuidado ya que podría corresponder a una descarga puntual o a un error en la información del dato informado por el Laboratorio.

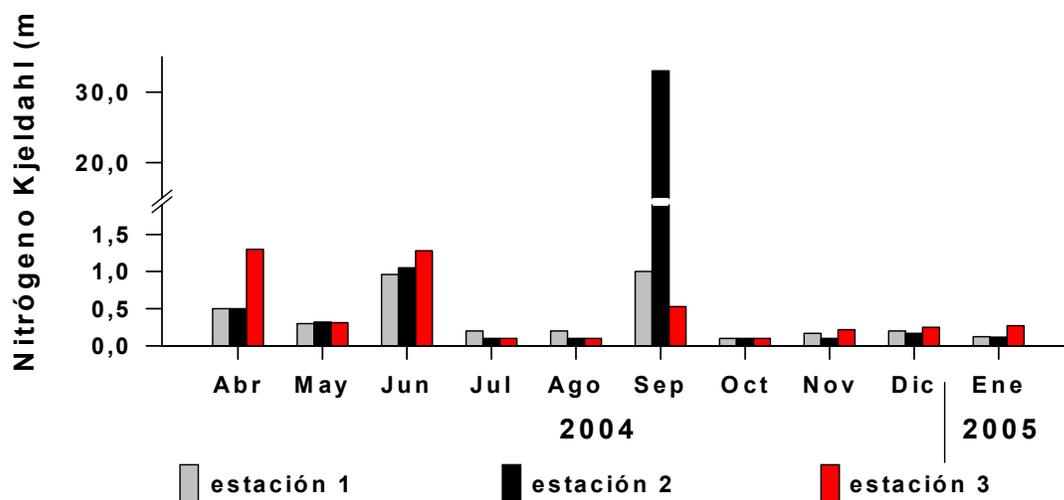


Figura 34. Variabilidad temporal de la concentración de Nitrógeno Kjeldahl (mg/L) en el agua durante el período Abril a Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas. Se entregan además las concentraciones encontradas en Enero del 2005.

En la Figura 35 se observa que la concentración de Fósforo total fue similar entre las tres estaciones del río Cruces, a excepción de los resultados del mes de Junio del 2004, donde se registró un fuerte incremento en las estaciones 1 y 2; mientras que en los meses de Mayo y Julio del 2004 y Enero del 2005, se observaron concentraciones superiores en la estación 2 respecto a la estación 1. Sin embargo, la media fue constante para las tres estaciones, con un valor de 0.03 mg/L. Similar a lo mencionado para la concentración de Nitrógeno en la estación 2 durante Septiembre del 2004, llama la atención los valores informados para Fósforo total en Junio del 2004, por lo que deberían ser considerados con cuidado dado que podrían corresponder a una descarga puntual o a un error en la información del dato dada por el Laboratorio.

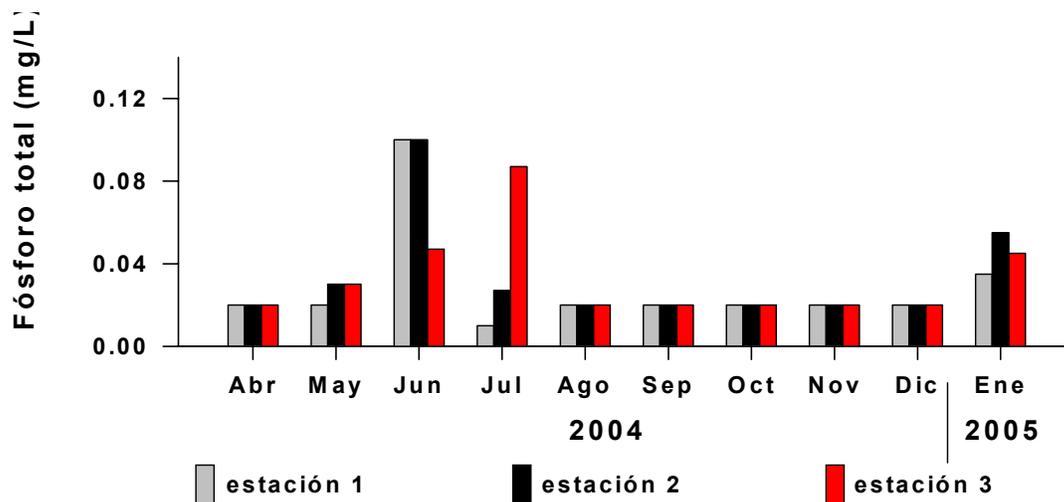


Figura 35. Variabilidad temporal de la concentración de Fósforo total (mg/L) en el agua durante el período Abril a Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces. Se entregan además las concentraciones encontradas en Enero del 2005.

En la Figura 36 se observa que la concentración de Sólidos Suspendidos inorgánicos registraron variaciones durante todo el período analizado en cada estación de muestreo. Las menores concentraciones se registran en la estación 1 y se ven incrementadas en la estación 2, particularmente en Abril, Noviembre y Diciembre del 2004. La estación 3 presenta incrementos respecto a la estación 1. La media de la concentración de Sólidos Suspendidos inorgánicos en la estación 1 fue de 4.74 mg/L, se incrementó a 7.32 mg/L en la estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO) y descendió a 6.19 mg/L en la estación 3.

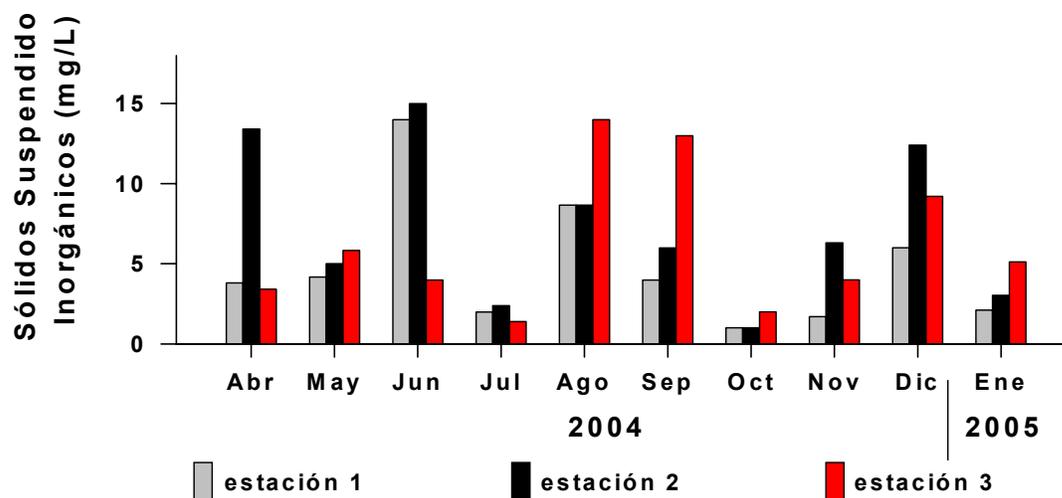


Figura 36. Variabilidad temporal de la concentración de Sólidos Suspendidos inorgánicos (mg/L) en el agua durante el período Abril a Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces. Se entregan además las concentraciones encontradas en Enero del 2005.

En la Figura 37 se observa que la concentración de Sólidos Disueltos es siempre menor en la estación 1 respecto a la estación 2, a excepción de la concentración del mes de Noviembre del 2004, que muestra un incremento considerable en la estación 1 respecto a los meses restantes. Asimismo, en Octubre del 2004 se observa un valor muy por debajo de la media. Sin embargo, la media de los Sólidos Disueltos en la estación 1 fue de 77.10 mg/L, se incrementó en la estación 2 a 103.30 mg/L (después de la descarga del Efluente CELCO) y descendió al ingreso del Humedal a 87.70 mg/L (estación 3).

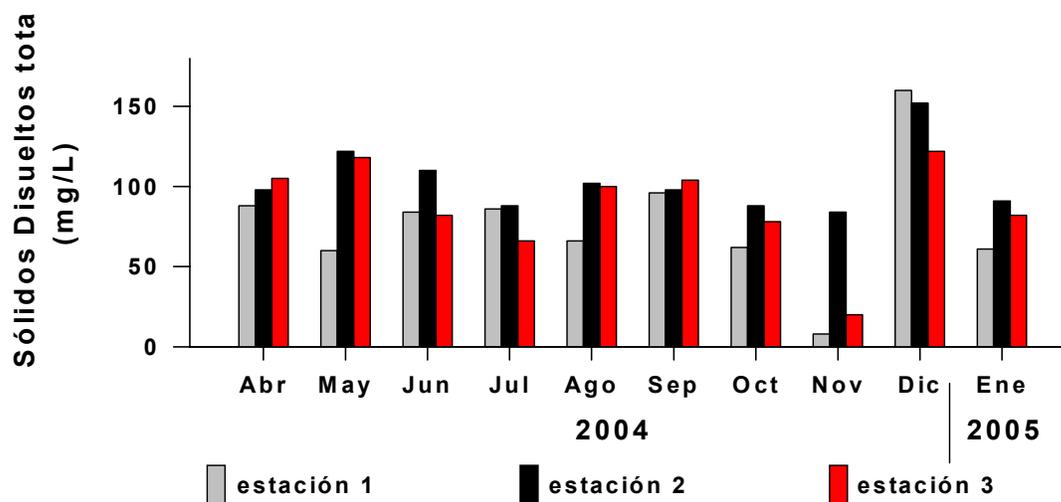


Figura 37. Variabilidad temporal de la concentración de Sólidos Disueltos totales (mg/L) en el agua durante el período Abril a Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces. Se entregan además las concentraciones encontradas en Enero del 2005.

En la Figura 38 se observa que la concentración de Aluminio muestra fuertes variaciones durante el período en cada estación. Llama la atención que durante el mes de Junio del 2004, la estación 1 muestra una alta concentración de Aluminio que disminuye bruscamente en el trayecto a la estación 2 (aguas abajo). Diferencias importantes en la concentración de este metal, se presentaron en Abril y Diciembre del 2004, donde se incrementó fuertemente la concentración de Aluminio en la estación 2. La media de la concentración de Aluminio en la estación 1 fue de 0.19 mg/L, se incrementó a 0.27 mg/L en la estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO), descendiendo aguas abajo a 0.17 mg/L en la estación 3.

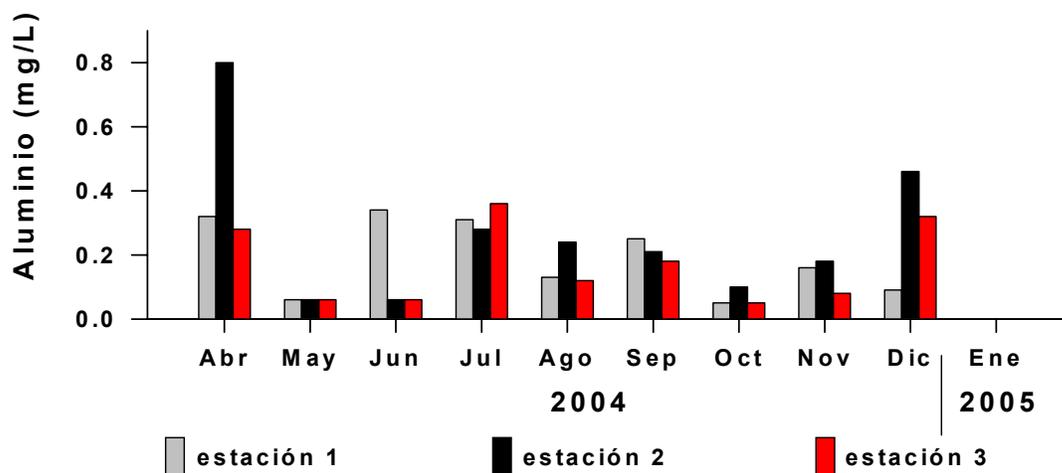


Figura 38. Variabilidad temporal de la concentración de Aluminio (mg/L) en el agua durante el período Abril a Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

En la Figura 39 se observa que la concentración de Hierro soluble fue siempre mayor en la estación 2 respecto de la estación 1, particularmente los meses de Diciembre del 2004 y Enero del 2005. En general, la media de la concentración del Hierro soluble aumenta aguas abajo, con un valor en la estación 1 de 0.13 mg/L a 0.21 y 0.23 mg/L en las estaciones 2 y 3, respectivamente.

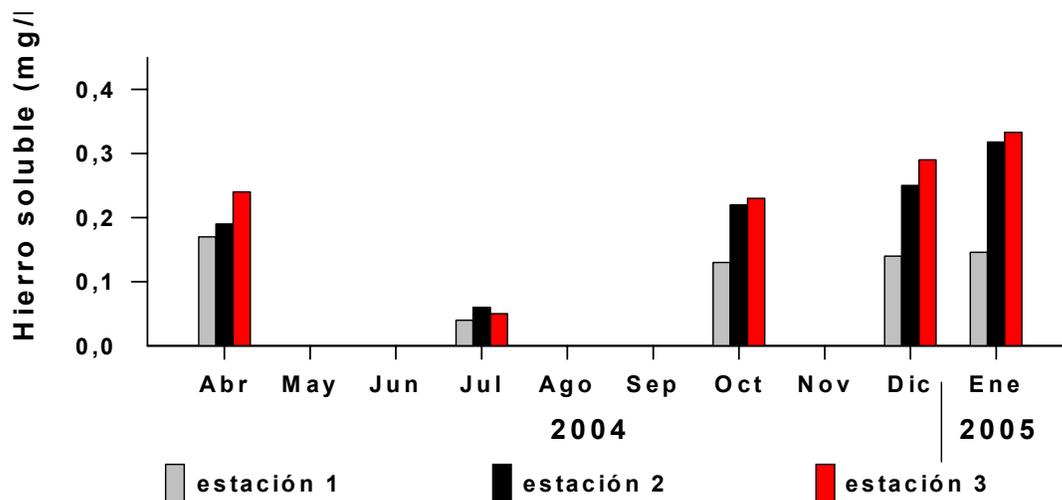


Figura 39. Variabilidad temporal de la concentración de Hierro (mg/L) en el agua durante el período Abril a Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces. Se entregan además las concentraciones encontradas en Enero del 2005.

En la Figura 40 se observa que las concentraciones de Manganeso en Abril, Julio y Octubre del 2004 muestran valores similares en las tres estaciones. Llama la atención que durante los meses de Diciembre del 2004 y Enero del 2005, se registraron menores concentraciones en la estación 2, respecto a la estación 1 y fuertes incrementos en la estación 3. La media de la concentración de Manganeso fue similar en estación 1 y estación 2 con 0.02 mg/L y de 0.03 mg/L en la estación 3.

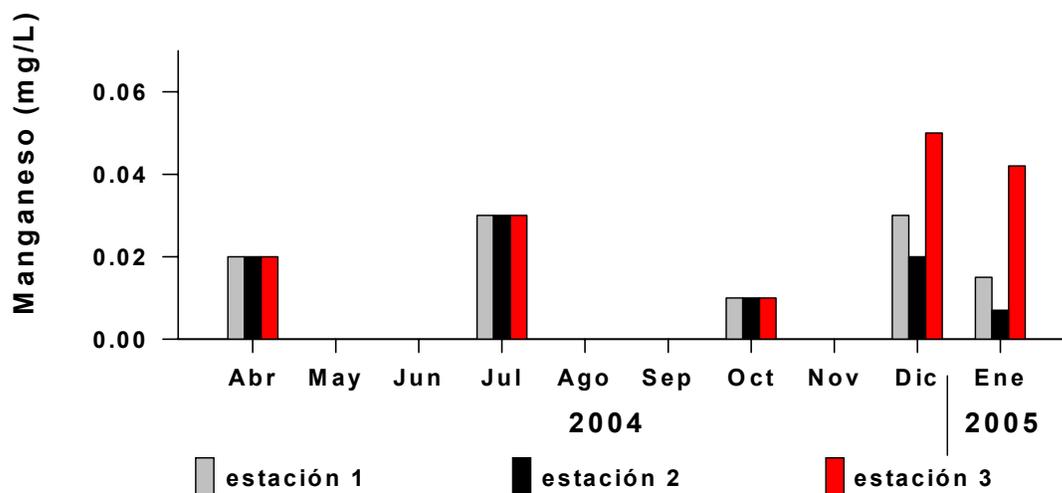


Figura 40. Variabilidad temporal de la concentración de Manganeso (mg/L) en el agua durante el período Abril a Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces. Se entregan además las concentraciones encontradas en Enero del 2005.

En la Figura 41 se observa que la concentración de Zinc en los meses de Abril, Octubre y Diciembre del 2004 registra valores similares en las tres estaciones. Particularmente se observa un fuerte incremento en la estación 2 durante Julio del 2004, manteniéndose en la estación 3. En Enero del 2005 también se registró un incremento en la estación 2, incrementándose luego en la estación 3. Sin embargo, la media fue constante para las tres estaciones, con un valor de 0.02 mg/L Zn.

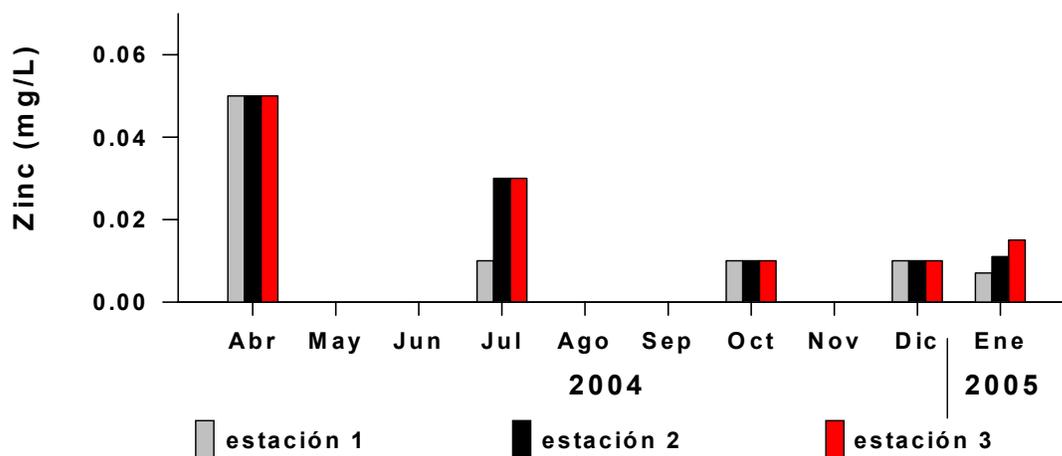


Figura 41. Variabilidad temporal de la concentración de Zinc (mg/L) en el agua durante el período Abril a Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces. Se entregan además las concentraciones encontradas en Enero del 2005.

La concentración de Sulfatos registró incrementos sostenidos entre estación 1 y estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO), durante el período de Abril a Diciembre del 2004 (Fig. 42). En Julio, Octubre y Diciembre del 2004 se registraron valores de <0.5 mg/L en la estación 1, con incrementos de concentración de 2.4, 9.1 y 15 mg/L en estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO). La concentración promedio de Sulfatos fue de <0.5 mg/L en la estación 1 y de 8.83 mg/L en la estación 2. En la estación 3, la concentración bajó levemente con respecto de la estación 2, con valores de 2.3, 6.9 y 14 mg/L, respectivamente y un promedio de 7.73 mg/L, pero registrando concentraciones muy superiores a las registradas en la estación 1. Lamentablemente no existen antecedentes de concentraciones de Sulfato en el Ril, salvo un dato de Abril del 2004 (Informe Laboratorio N° 1243), donde se indica un valor < 10 mg/L, de tal manera que no se puede correlacionar su incidencia en el cuerpo de agua.

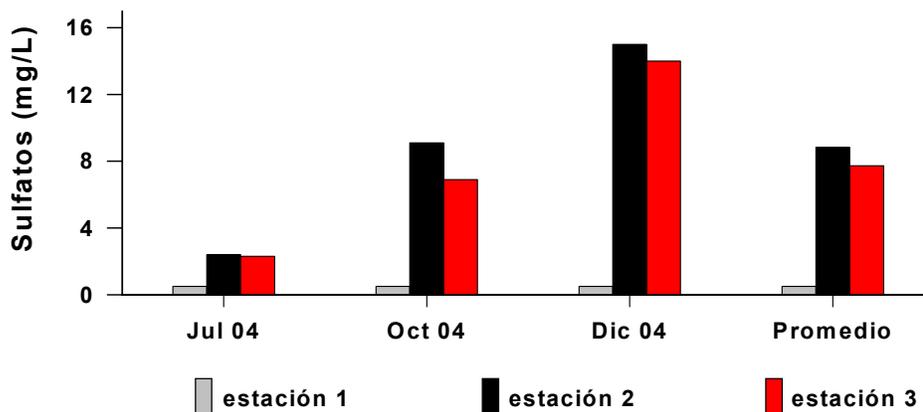


Figura 42. Variabilidad temporal de la concentración de Sulfatos (mg/L) en el agua durante los muestreos de Julio, Octubre, Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces. Se entrega además el promedio del período

Mientras que el Clorato registra sólo en Abril 2004 (Fig. 43) un fuerte incremento en la concentración de la estación 2 (Fig. 43) con un valor de 0.6 mg/L respecto a <0.08 mg/L en la estación 1. Este aumento en Abril del 2004 coincide con un aumento en la concentración del RIL descargado que correspondió a 42.32 mg/L. Respecto a las concentraciones informadas del Ril, sólo se consideraron los datos de los Muestreos Mensuales, debido a que no se contaban con los Informes de Laboratorio de los Muestreos Semanales. Si bien se registran en los Muestreos Mensuales valores muy bajos para el Ril durante los siguientes meses, los antecedentes disponibles de los Muestreos Semanales indican que existe una alta variabilidad en las concentraciones de Cloratos en el Efluente CELCO (e.g., Agosto y Diciembre del 2004), por lo que no se descarta la reiteración de eventos de este tipo que inciden en la calidad del agua del río Cruces.

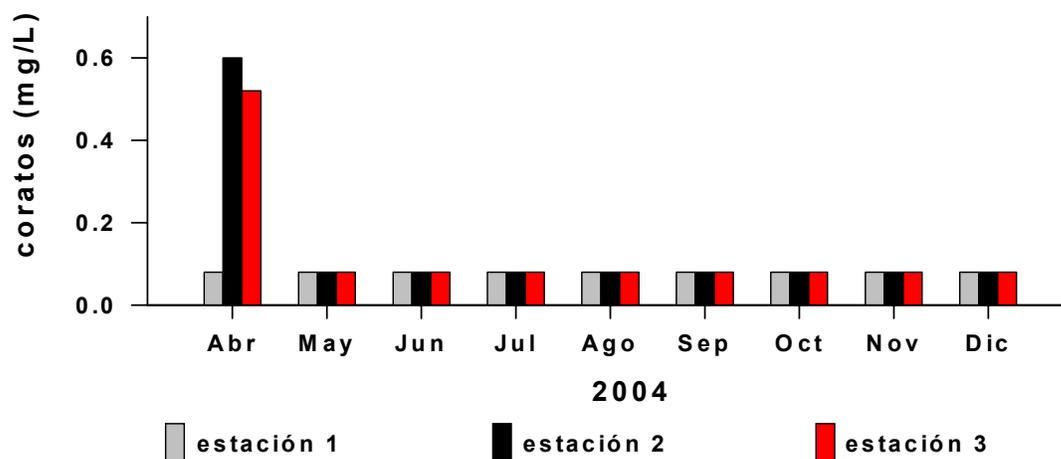


Figura 43. Variabilidad temporal de la concentración de Cloratos (mg/L) en el agua entre Abril y Diciembre del 2004, en las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

La concentración de Cloruros registró incrementos sostenidos entre estación 1 y estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO), durante el período de Abril a Diciembre del 2004 (ver Anexo 4). En Julio, Octubre y Diciembre del 2004 se registraron valores alrededor de 3 mg/L en la estación 1, con incrementos de concentración de 2.8, 6.1 y 8.1 mg/L en estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO). La concentración promedio de Cloruros en la estación 1 fue de 6.7 mg/L y en la estación 2, de 8.1 mg/L, tras la descarga del Ril. En la estación 3, la concentración bajó respecto de la estación 2, a un promedio de 7.73 mg/L, pero registrando concentraciones muy superiores a las registradas en la estación 1 (aguas arriba). Lamentablemente no existen antecedentes de concentraciones de Cloruros en el Ril, de tal manera que no se puede correlacionar su incidencia en el cuerpo de agua.

La concentración de Sodio registró incrementos entre estación 1 y estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO), durante el período de Abril a Diciembre del 2004 (ver Anexo 4). En Abril del 2004 se registró una concentración de 3.4 mg/L en la estación 1 (aguas arriba) y aumentó a 14 mg/L en la estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO). La concentración promedio de Sodio en la estación 1

fue de 3.49 mg/L y en las estaciones 2 y 3 se incrementó a 7.88 mg/L y 9.8 mg/L, respectivamente. Lamentablemente no existen antecedentes de concentraciones de Cloruros en el Ril, de tal manera que no se puede correlacionar su incidencia en el cuerpo de agua.

La concentración de AOX registró incrementos sostenidos entre estación 1 y estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO), durante el período de Abril a Junio del 2004 (ver Anexo 4). En Abril, Mayo y Junio del 2004 se registraron valores de 2, 2 y 4.5 mg/L en la estación 1, con incrementos de concentración a 34, 33 y 24 mg/L en estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO). La concentración promedio de AOX fue de 2.83 mg/L en la estación 1 y de 30.33 mg/L en la estación 2. Al ingreso del Humedal, estación 3, la concentración bajó con respecto de la estación 2, con un valor promedio de 19.67 mg/L, este último muy superior al registrado aguas arriba de la descarga del Efluente CELCO. Las concentraciones del Ril variaron entre 1700 y 2800 mg/L, mostrando un promedio del período analizado de 2 266.67 mg/L.

De lo anterior se puede concluir que los parámetros que se vieron incrementados entre la estación 1 y la estación 2, aguas abajo después de la descarga del Ril, corresponden a conductividad, DBO₅, Nitrógeno total, Sólidos Suspendidos inorgánicos, Sólidos Disueltos, Aluminio, Hierro soluble, Sulfato, Cloratos, Cloruros, Sodio y AOX.

Análisis de aportes de las características de la calidad de agua del río Cruces

En Tablas 54, 55 y 56 se presentan las diferencias o aportes de las características de la calidad del agua del río Cruces para los diferentes tramos asociados a las estaciones 1, 2 y 3, respectivamente, durante el período de Abril del 2004 a Enero del 2005. En este sentido la Tabla 54, corresponde a las diferencias de las características de la calidad de agua del río Cruces entre la estación 2 respecto a la estación 1; en este tramo en particular se encuentra la descarga del Ril de la Planta de CELCO. La Tabla 55 corresponde a las diferencias de las características de la calidad de agua del río Cruces entre la estación 3 respecto a la estación 2, mientras que la Tabla 38 muestra las diferencias de las características de la calidad de agua del río Cruces entre la estación 3 respecto a la estación 1. Dichos aportes han sido estimados basándose en las diferencias entre las características fisicoquímicas de la columna de agua de la estación 1 versus la estación 2 (Aporte E1-E2), entre la estación 2 y 3 (aporte E2-E3), y la integración del aporte total del tramo analizado (aporte E1-E3). Dichos aportes pueden ser positivos o negativos, los valores positivos significan un aumento del valor de la variable entre estaciones, mientras que los valores negativos significan una disminución del valor de dicha variable. El esquema para el análisis de los aportes de cada una de las variables analizadas se resume en la Figura 44. Los resultados de los aportes de concentración y cargas (ver mas abajo) calculados para esos tramos se resumen en esquemas en Anexo 3.



Figura 44. Esquema que indica resume la estimación de aportes en la concentración de las variables fisicoquímicas de la columna de agua entre las estaciones 1 2 y 3. E1-E2 aporte (diferencias) entre las estaciones 1 y 2, E2-E3 aporte (diferencias) entre las estaciones 1 y 2, E1 -E3 aporte (diferencias) entre las estaciones 1 y 3.

Tabla 54.. Aporte en la concentración de las características fisicoquímicas de la columna de agua entre la estación 1 y la estación 2 durante Abril del 2004 y Enero del 2005.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero 2005
Caudal (m ³ /s)	35.600	25.240	107.020	287.600	81.000	99.700	38.900	59.000	32.900	21.131
Temperatura (°C)	-0.100	0.000	0.000	-1.100	-1.100	-0.100	0.500	0.500	4.000	0.180
pH	0.000	0.000	0.020	-0.120	-0.400	0.040	-0.090	-0.030	0.240	0.010
Conductividad (µS/cm)	41.700	54.200	45.500	11.200	35.200	19.400	45.700	-14.100	79.500	106.000
Oxígeno Disuelto (mg/L)	-0.340	-1.290	0.040	-0.390	-0.500	-0.900	0.070	0.960	0.580	-0.720
DBO ₅ (mg/L)	0.000	10.100	0.000	0.000	0.000	0.200	0.700	0.100	0.000	4.675
DQO (mg/L)	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.500
Fósforo total (mg/L)	0.000	0.010	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
Nitratos (mg/L)	0.001	-----	-----	0.070	-----	0.000	-0.010	0.000	0.000	0.002
Amonio (mg/L)	0.000	-----	-----	-0.003	-----	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.009
Nitrógeno total (mg/L)	0.000	0.020	0.090	-0.100	-0.100	32.000	0.000	-0.070	-0.030	-0.007
SS orgánico (mg/L)	-0.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	-0.003	-0.001	0.050
SS inorgánico (mg/L)	9.600	0.830	1.000	0.400	0.000	2.000	0.000	4.600	6.400	0.930
S Suspendidos (mg/L)	9.200	0.830	1.000	0.400	0.000	2.000	0.000	4.597	6.399	0.980
S Disueltos (mg/L)	10.000	62.000	26.000	2.000	36.000	2.000	26.000	76.000	-8.000	30.010
Sólidos totales (mg/L)	19.200	62.830	27.000	2.400	36.000	4.000	26.000	80.597	-1.601	30.990
Aluminio (mg/L)	0.480	0.000	-0.280	-0.030	0.110	-0.040	0.050	0.020	0.370	-----
Arsénico (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Bario (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Berilio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Boro (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Cadmio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-0.001
Cobalto (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Cobre (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-0.004
Cromo total (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.000
Hierro soluble (mg/L)	0.020	-----	-----	0.020	-----	-----	0.090	-----	0.110	0.172
Manganeso (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	-0.010	-0.008
Mercurio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.000
Molibdeno (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Níquel (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.000
Plomo (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.000
Selenio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Vanadio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Zinc (mg/L)	0.000	-----	-----	0.020	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.004
Clorofenoles Totales (ng/L)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-----
Pentaclorofenoles (ng/L)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-----

Tabla 55. Aporte en la concentración de las características fisicoquímicas de la columna de agua entre la estación 2 y la estación 3 durante Abril del 2004 y Enero del 2005.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero 2005
Caudal (m ³ /s)	35.600	25.240	107.020	287.600	81.000	99.700	38.900	59.000	32.900	21.131
Temperatura (°C)	0.700	0.000	-0.200	-0.500	-0.500	1.100	1.000	0.500	-3.900	3.250
pH	-0.100	0.000	-0.290	-0.010	0.000	-0.530	-0.070	0.050	0.590	0.310
Conductividad (μS/cm)	-64.200	-16.300	-21.600	-7.500	0.900	-5.300	31.600	-40.700	-22.200	-59.660
Oxígeno Disuelto (mg/L)	-0.110	0.490	-1.300	0.420	-0.400	0.100	0.080	-0.190	-0.720	-1.160
DBO ₅ (mg/L)	0.000	-4.200	0.000	0.000	0.000	1.000	-0.700	-0.200	-2.900	-2.242
DQO (mg/L)	0.000	0.000	0.030	3.200	0.000	0.000	0.000	3.100	4.800	-14.750
Fósforo total (mg/L)	0.000	0.000	-0.053	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.010
Nitratos (mg/L)	0.002	-----	-----	-0.090	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.020
Amonio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.036
Nitrógeno total (mg/L)	0.800	-0.010	0.230	0.000	0.000	-32.470	0.000	0.120	0.080	0.152
SS orgánico (mg/L)	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	2.703
SS inorgánico (mg/L)	-10.000	0.830	-11.000	-1.000	5.330	7.000	1.000	-2.300	-3.200	2.093
S Suspendidos (mg/L)	-10.000	0.830	-11.001	-1.000	5.330	7.000	0.999	-2.298	-3.200	4.797
S Disueltos (mg/L)	7.000	-4.000	-28.000	-22.000	-2.000	6.000	-10.000	-64.000	-30.000	-9.000
Sólidos totales (mg/L)	-3.000	-3.170	-39.001	-23.000	3.330	13.000	-9.000	-66.298	-33.200	-4.203
Aluminio (mg/L)	-0.520	0.000	0.000	0.080	-0.120	-0.030	-0.050	-0.100	-0.140	-----
Arsénico (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Bario (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Berilio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Boro (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Cadmio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Cobalto (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Cobre (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.009
Cromo total (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.000
Hierro soluble (mg/L)	0.050	-----	-----	-0.010	-----	-----	0.010	-----	0.040	0.015
Manganeso (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.030	0.035
Mercurio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.000
Molibdeno (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Níquel (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.050	0.003
Plomo (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.000
Selenio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Vanadio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Zinc (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.004
Clorofenoles Totales (ng/L)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-----
Pentaclorofenoles (ng/L)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-----

Tabla 56.. Aporte en la concentración de las características fisicoquímicas de la columna de agua entre la estación 1 y la estación 2 durante Abril del 2004 y Enero del 2005.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero 2005
Caudal (m ³ /s)	35.600	25.240	107.020	287.600	81.000	99.700	38.900	59.000	32.900	21.131
Temperatura (°C)	0.600	0.000	-0.200	-1.600	-1.600	1.000	1.500	1.000	0.100	3.430
pH	-0.100	0.000	-0.270	-0.130	-0.400	-0.490	-0.160	0.020	0.830	0.320
Conductividad (µS/cm)	-22.500	37.900	23.900	3.700	36.100	14.100	77.300	-54.800	57.300	46.340
Oxígeno Disuelto (mg/L)	-0.450	-0.800	-1.260	0.030	-0.900	-0.800	0.150	0.770	-0.140	-1.880
DBO ₅ (mg/L)	0.000	5.900	0.000	0.000	0.000	1.200	0.000	-0.100	-2.900	2.433
DQO (mg/L)	0.000	0.000	0.530	3.200	0.000	0.000	0.000	3.100	4.800	-3.250
Fósforo total (mg/L)	0.000	0.010	-0.053	0.077	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
Nitratos (mg/L)	0.003	-----	-----	-0.020	-----	-----	-0.010	-----	0.000	0.022
Amonio (mg/L)	0.000	-----	-----	-0.003	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.027
Nitrógeno total (mg/L)	0.800	0.010	0.320	-0.100	-0.100	-0.470	0.000	0.050	0.050	0.145
SS orgánico (mg/L)	-0.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	2.753
SS inorgánico (mg/L)	-0.400	1.660	-10.000	-0.600	5.330	9.000	1.000	2.300	3.200	3.023
S Suspendidos (mg/L)	-0.800	1.660	-10.000	-0.600	5.330	9.000	1.000	2.299	3.199	5.777
S Disueltos (mg/L)	17.000	58.000	-2.000	-20.000	34.000	8.000	16.000	12.000	-38.000	21.010
Sólidos totales (mg/L)	16.200	59.660	-12.000	-20.600	39.330	17.000	17.000	14.299	-34.801	26.787
Aluminio (mg/L)	-0.040	0.000	-0.280	0.050	-0.010	-0.070	0.000	-0.080	0.230	-----
Arsénico (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Bario (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Berilio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Boro (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Cadmio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.000
Cobalto (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Cobre (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.005
Cromo total (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.000
Hierro soluble (mg/L)	0.070	-----	-----	0.010	-----	-----	0.100	-----	0.150	0.187
Manganeso (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.020	0.027
Mercurio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.000
Molibdeno (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Níquel (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.050	0.003
Plomo (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.000
Selenio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Vanadio (mg/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Zinc (mg/L)	0.000	-----	-----	0.020	-----	-----	0.000	-----	0.000	0.008
Clorofenoles Totales (ng/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----
Pentaclorofenoles (ng/L)	0.000	-----	-----	0.000	-----	-----	0.000	-----	0.000	-----

La conductividad del agua presentó en general aportes positivos (i.e. incremento de la conductividad) entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), sólo en el muestreo de Noviembre del 2004 se presentó un aporte negativo para este tramo (Tabla 54 y Fig. 45). En contraste, los aportes (diferencias) entre la conductividad de las estaciones 2 y 3 fueron en general valores negativos (i.e. disminución de la conductividad), solamente el muestreo de Octubre del 2004 presentó un valor positivo de aporte para esta variable (Tabla 54 y Fig. 45). El aporte neto de esta variable entre la estación 1 y 3 fue por lo general positivo, sólo los muestreos de Abril y Noviembre del 2004 presentó valores negativos de aporte (Tabla 54 y Fig.45), el promedio del período fue de 21.93 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

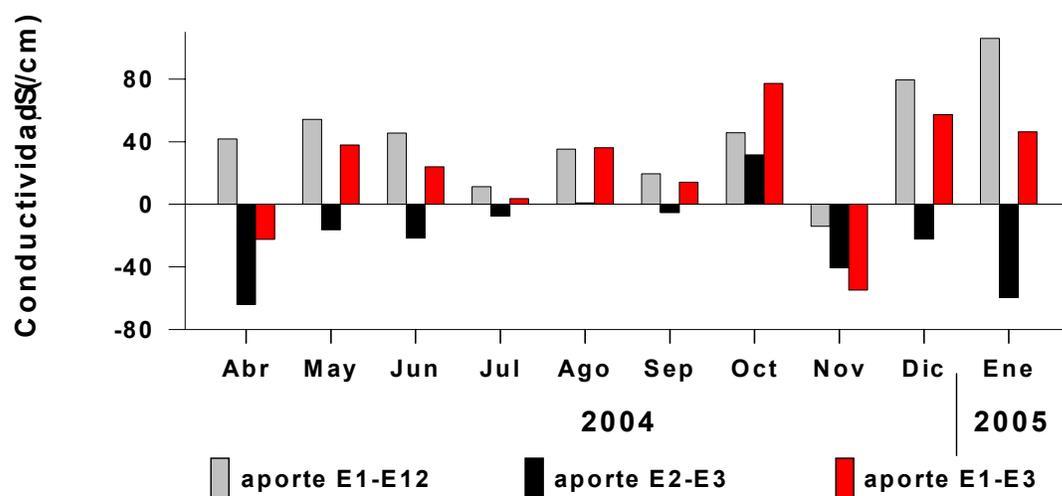


Figura 45. Aporte en los valores de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) entre las estaciones 1y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

La concentración de Oxígeno Disuelto presentó en general aporte bajos y en general, negativos durante todos los muestreos analizados (Tablas 54, 55 y 56 y Fig. 46). Para el tramo entre las estaciones 1 y 2, solamente los muestreos de Noviembre y Diciembre del 2004 presentaron aportes positivos en la concentración de Oxígeno Disuelto (Fig. .46), el aporte promedio de este tramo fue de -0.25 mg/L. En el tramo entre las estaciones 2 y 3 (aporte E2-E3) los muestreos de Mayo, Julio, Septiembre y Octubre del 2004 presentaron valores positivos (Fig. 46). El aporte neto entre las estaciones 1 y 3 (i.e. todo el tramo analizado) sólo presentó valores positivos en los muestreos de Octubre y Noviembre del 2004 (Fig. 46). Estos resultados sugieren una

leve disminución en la concentración de Oxígeno entre las estaciones 1, 2 y 3, lo que se mantiene en casi todo el período analizado.

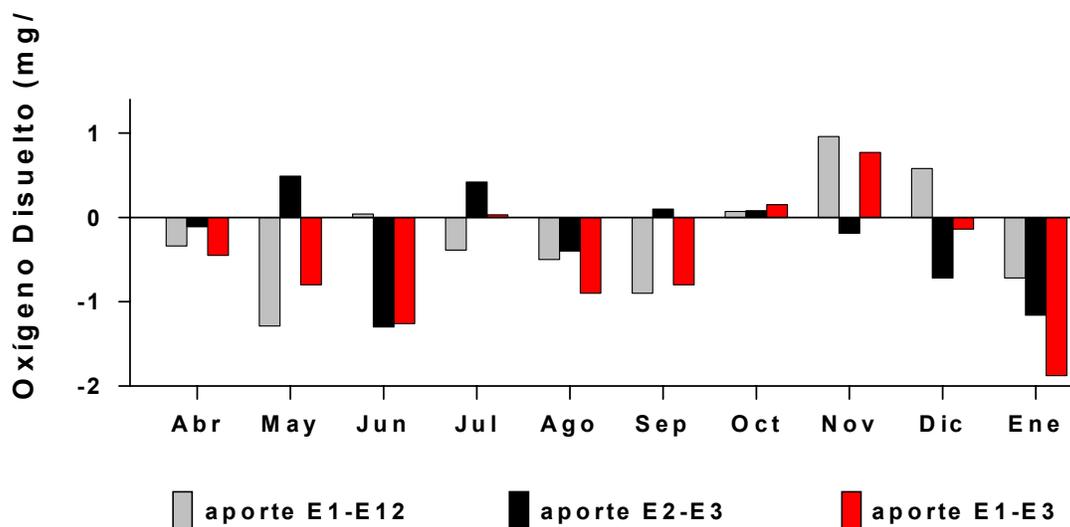


Figura 46. Aporte en la concentración de Oxígeno disuelto (mg/L) entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

La DBO₅ y DQO, en general no mostraron mayores diferencias entre estaciones (Tablas 54, 55, 56 y Fig. 47), en el tramo E1-E2, estas variables presentaron un aporte promedio de 1.58 y 1.2 mg/L, respectivamente. En este tramo la DBO₅ presentó valores positivos en Mayo, Septiembre y Octubre del 2004 y Enero del 2005 (Fig. 47), la DQO sólo presentó un aporte relativamente importante en Enero del 2005 (Fig. 47). En el tramo E2-E3, en general la DBO₅ presentó aportes negativos, mientras que la DQO en general fueron aportes positivos, sólo el muestreo de Enero del 2005 presentó aportes negativos de DQO (Fig. 47). Los aportes entre las estaciones 1 y 3, en general fueron positivos para ambas variables (Fig. 47), con un promedio para el período de 0.65 y 0.84 mg/L, para la DBO₅ y la DQO, respectivamente.

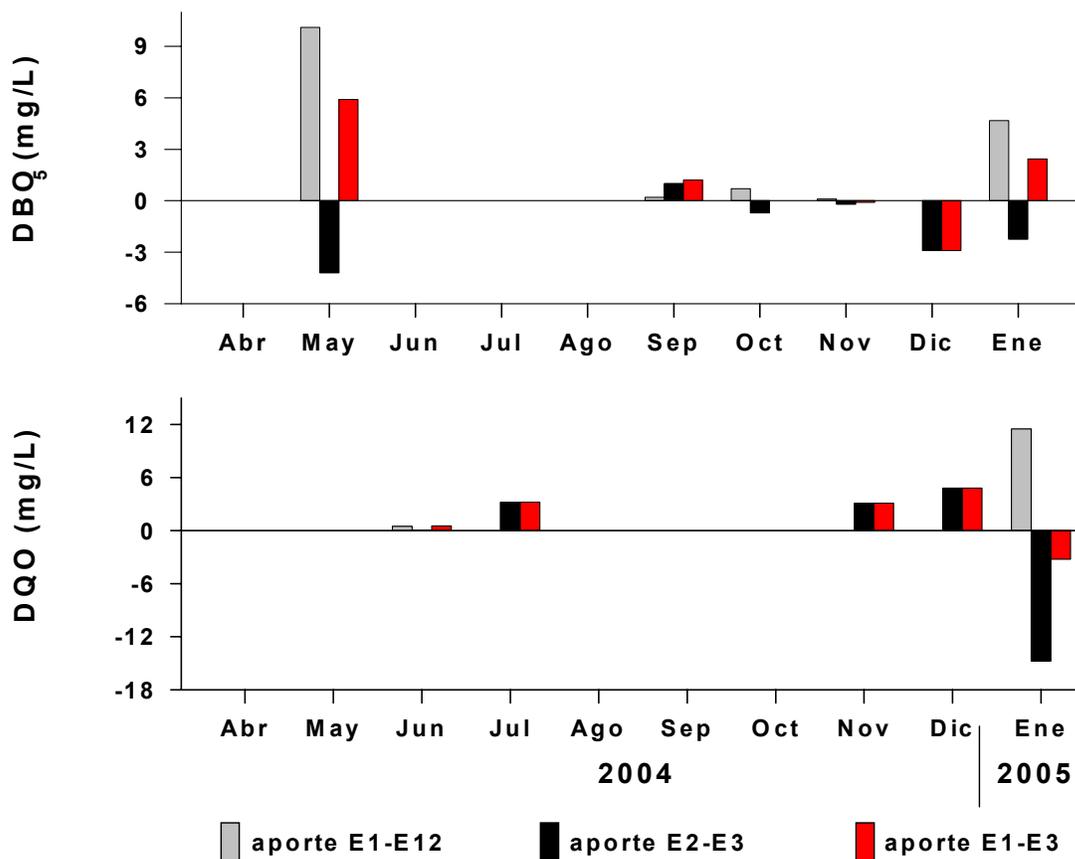


Figura 47. Aporte en la concentración de DBO_5 y DQO (mg/L) entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

Durante el mes de Septiembre del 2004, el Nitrógeno total registró un aporte positivo importante entre las estaciones 1 y 2, y negativo de la misma magnitud entre las estaciones 2 y 3 (Tabla 54 y 55 y Fig. 48). Sin embargo, como fue mencionado anteriormente este valor debe ser considerado con cuidado, esto debido a que podría ser un valor errado o una descarga puntual importante. La concentración de Fósforo total (Fig. 48) no registró aportes sostenidos importantes. Sólo durante los muestreos de Junio y Julio del 2004 se observaron aportes positivos notorios en el tramo E2-E3 (i.e. diferencias entre estaciones 2 y 3). En ambos parámetros, el aporte neto entre las

estaciones 1 y 3, en general se comportó de manera similar al aporte del tramo E2-E3 (Tablas 55 y 56 y Fig. 48).

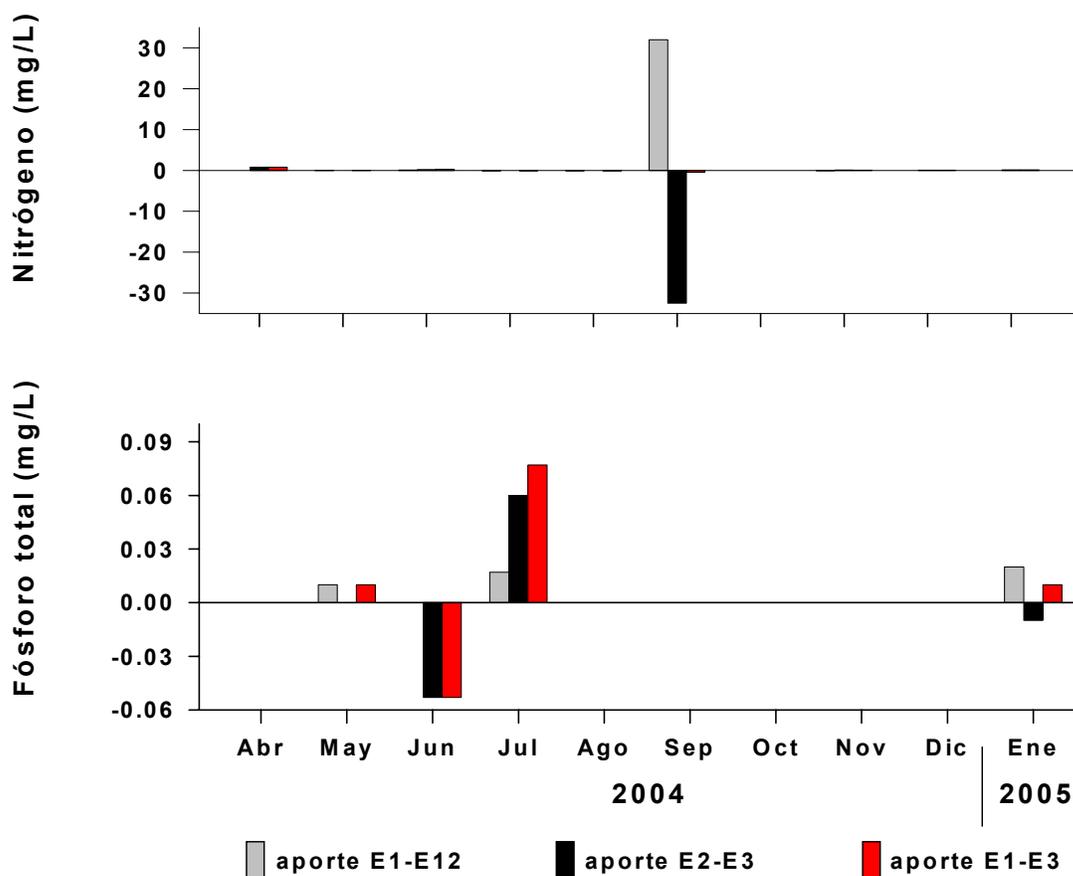


Figura 48. Aporte en la concentración de Nitrógeno total y Fósforo total (mg/L) entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

En general, las concentraciones de Aluminio y Hierro soluble, fueron los que presentaron mayores aportes positivos de entre los metales pesados analizados (Tablas 54, 55, 56 y Fig. 49). En el tramo E1-E2, el Aluminio presentó aportes positivos relativamente importantes en los muestreos de Abril y Diciembre del 2004, mientras que la concentración de Hierro soluble presentó aportes positivos importantes de concentración en los muestreos de Octubre y Diciembre del 2004 y Enero del 2005 (Fig. 49). Para este tramo el Manganeseo presentó sólo aportes negativos, los que sucedieron en los muestreos de Diciembre del 2004 y Enero del 2005, mientras que el Zinc

presentó sólo dos aportes positivos en el período de análisis, destacando el asociado a Julio del 2004. En el tramo E2-E3, el Aluminio presentó en general aportes negativos, sólo en el muestreo de Julio del 2004 ese aporte fue positivo. Mientras que el Hierro soluble presentó aportes positivos en este tramo, pero de menor magnitud que los registrados en el tramo E1-E2 (Fig. 49). El Manganeseo presentó aportes positivos en los muestreos de Diciembre del 2004 y Enero del 2005, mientras que el Zinc sólo presentó aportes positivos en Enero del 2005 y de similar magnitud que el del tramo E1-E2 (Fig. 49). El aporte neto entre las estaciones 1 y 3, presentó promedios para el período de 0.02 mg/L para el Aluminio y de 0.10 mg/L para el Hierro soluble.

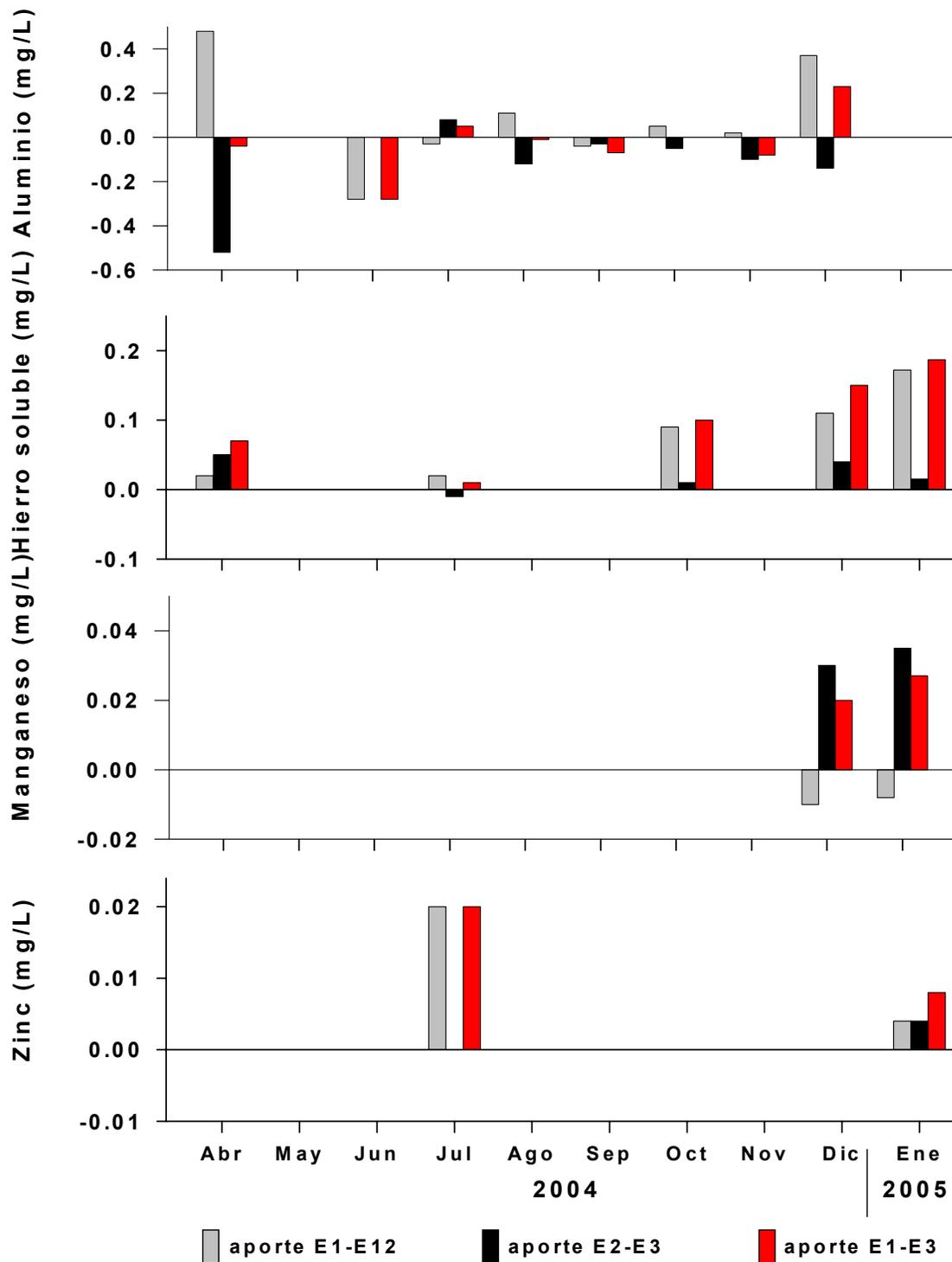


Figura 49. Aporte en la concentración de metales pesados (mg/L) entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

Los Sólidos Suspendidos inorgánicos en el tramo E1-E2, presentaron aportes positivos relativamente importantes en Abril, Noviembre y Diciembre del 2004, no presentando aportes negativos (Fig. 50) con un promedio en el período de 2.58 mg/L. En el Tramo E2-E3, esta variable no presentó un patrón claro a lo largo del estudio. Así, se registraron aportes negativos en los muestreos de Abril, Junio, Julio, Noviembre y Diciembre del 2004 y valores positivos en Agosto y Septiembre del 2004 y Enero del 2005 (Fig. 50), con un promedio para este período de -1.12 mg/L. En el Tramo E1-E3, el promedio del período fue de 1.45 mg/L SS. Los Sólidos Disueltos totales en el tramo E1-E2, presentaron en general aportes positivos en todos los muestreos analizados en el período, a excepción del muestreo de Diciembre del 2004, donde fue negativo (Fig. 50). En el tramo que involucra la descarga del Efluente CELCO, los Sólidos Disueltos presentaron un aporte promedio para el período de 26.20 mg/L, mientras que en el tramo aguas abajo, tramo E2-E3, en general los aportes presentaron valores negativos (Fig. 50), con un promedio para el período de -15.6 mg/L. Para el tramo E1E3 en general se presentaron valores positivos, sólo en el muestreo de Diciembre del 2004 dichos aportes fueron negativos (Fig. 49), registrando un promedio del período de 10.6 mg/L SD.

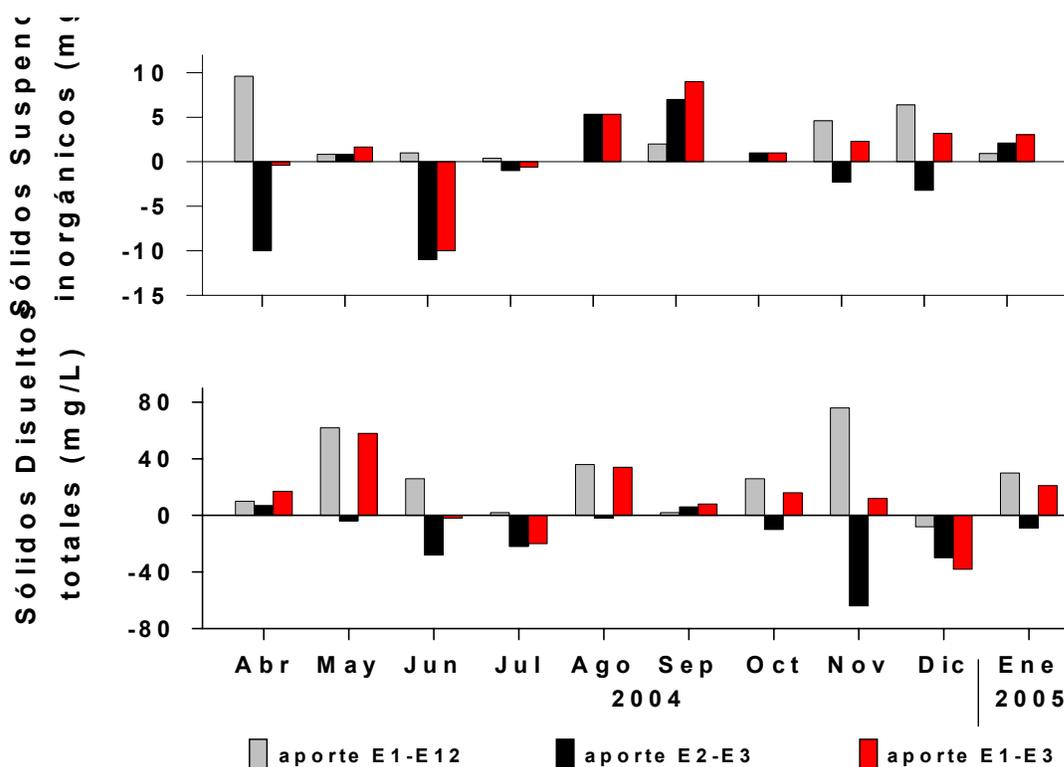


Figura 50. Aporte en la concentración de Sólidos Suspendedos inorgánicos y Sólidos Disueltos totales entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

En la Figura 51 se observa que el aporte de la concentración de Sulfato en las aguas del río Cruces en el tramo E1-E2 (tramo que incluye a la descarga del Efluente CELCO), se ha ido incrementando de Julio a Diciembre del 2004, con un aporte promedio de 8.3 mg/L durante el período de Julio a Diciembre 2004. El incremento de concentración (aporte) fluctúa entre 1.9 mg/L en Julio del 2004 y 14.5 mg/L en Diciembre del 2004 en la columna de agua del río Cruces. En el tramo E2-E3 los aportes fueron siempre negativos (-1.1 mg/L) (Fig. 51).

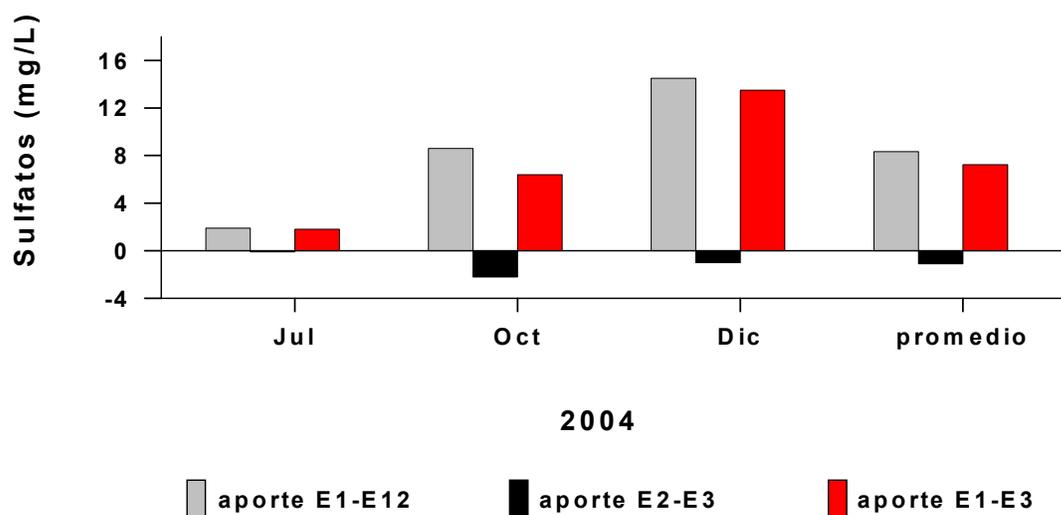


Figura 51. Aportes en la concentración de Sulfatos entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

El aporte puntual en la concentración de Cloratos correspondiente al mes de Abril del 2004, fue de 0.52 mg/L en las aguas del río Cruces en el tramo E1-E2, luego en el tramo E2-E3 no se registra aporte de Clorato (Fig. 52). Durante los meses restantes no se observan aportes en los respectivos tramos, lo cual no indica que no hayan existido eventos como el registrado en Abril del 2004, pues como se citó anteriormente, existe una alta variabilidad en las concentraciones de este parámetro en los Muestras Semanales del Ril.

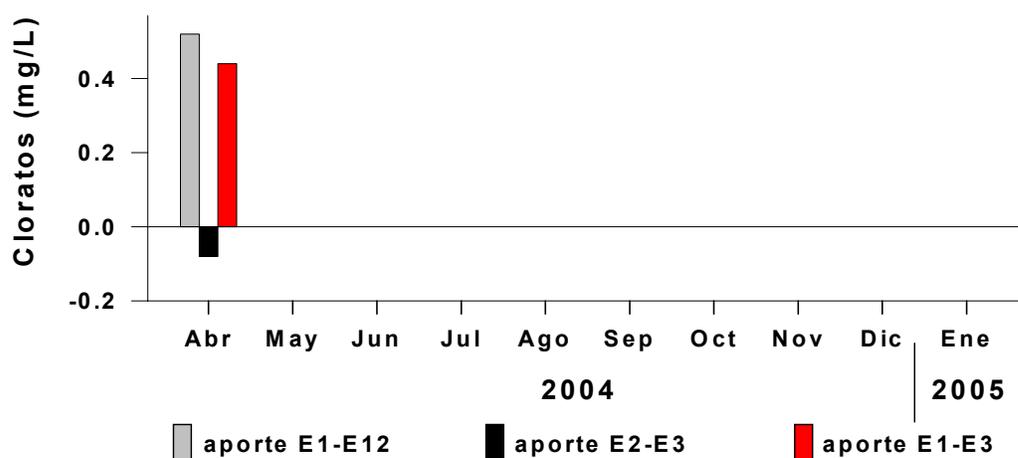


Figura 52. Aporte en la concentración de Cloratos entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

Los aportes asociados a la concentración de Cloruros (ver Anexo 3) fueron siempre positivos en el tramo E1-E2 (tramo que incluye a la descarga del Efluente CELCO), con un máximo de 4.9 mg/L en Diciembre del 2004. El aporte promedio del período Abril a Diciembre del 2004 fue de 1.4 mg/L; mientras que en el tramo siguiente, E2-E3, los aportes siempre se presentaron negativos. El Sodio presentó aportes positivos en ambos tramos, particularmente mayores en el tramo E1-E2 (tramo que incluye a la descarga del Efluente CELCO) del orden de 4.39 mg/L en el período y de 1.92 mg/L en el tramo E2-E3 (ver Anexo 3).

Los aportes de AOX en el tramo E1-E2 (tramo que incluye a la descarga del Efluente CELCO), presentó aportes positivos de 27.5 µg/L para el período Abril a Junio del 2004, mientras que en el tramo siguiente, E2-E3, los aportes siempre fueron negativos (ver Anexo 3).

Análisis de cargas netas diarias en la columna de agua del río Cruces

La caracterización de la calidad de agua del río Cruces registrada desde Abril del 2004 a Enero del 2005 que se presentaron en Tablas 42 a 50 y los antecedentes del caudal del día de muestreo permitieron determinar las cargas netas diarias durante el período y para cada estación de muestreo. En Tablas 57, 58 y 59, se presentan las cargas netas diarias asociadas al período Abril a Diciembre del 2004 y Enero del 2005, en las estaciones 1, 2 y 3 en el río Cruces.

Tabla 57. Cargas netas diarias de las características fisicoquímicas de la columna de agua de la estación 1 en el río Cruces.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero 2005
Caudal (m ³ /s)	35.75	25.41	107.21	287.65	81.21	99.84	39.05	59.07	32.92	21.13
Temperatura (°C)	11.50	9.90	9.00	10.10	10.10	10.00	12.50	14.30	10.00	16.90
pH	7.70	6.60	7.31	7.23	6.90	7.41	7.49	6.89	6.82	6.83
Conductividad (μS/cm)	55.90	42.60	28.60	29.30	27.20	31.40	40.50	90.40	37.50	39.61
Oxígeno Disuelto (kg/d)	23783.76	18683.06	66415.31	177201.60	48203.66	95750.55	33536.76	42054.06	26224.34	16997.81
DBO ₅ (kg/d)	<3088.80	20197.90	<9262.94	<24852.96	<7016.54	11214.03	1686.96	5614.01	24460.88	5477.27
DQO (kg/d)	<123552.0	73063.71	<9262.94	82014.77	<140330.88	<172523.52	<67478.40	<102072.96	<56885.76	26017.05
Fósforo total (kg/d)	0	<43.91	926.29	248.53	<140.33	<172.52	<67.48	<102.07	<63.90	63.90
Nitratos (kg/d)	<61.78	-----	-----	5716.18	-----	-----	371.13	-----	<284.43	108.58
Amonio (kg/d)	105.02	-----	-----	1317.21	-----	-----	<168.70	-----	<142.21	53.36
Nitrógeno total (kg/d)	<12.36	658.63	8892.43	4970.59	1403.31	<8626.18	337.39	867.62	568.86	228.22
SS. orgánico (kg/d)	<1544.40	1.32	5.56	19.88	7.02	3.45	0.34	15.31	5.69	3560.23
SS inorgánico (kg/d)	5559.84	9154.92	129588.59	49457.39	60763.27	34418.44	3373.92	8676.20	17065.73	3834.09
S suspendidos (kg/d)	11737.44	9156.24	129594.14	49477.27	60770.29	34421.89	3374.26	8691.51	17071.42	7394.32
S Disueltos (kg/d)	17297.28	131725.44	778087.30	2137354.56	463091.90	828112.90	209183.04	40829.18	455086.08	111343.86
Sólidos totales (kg/d)	271814.40	140881.68	907681.44	2186831.83	523862.19	862534.79	212557.30	49520.70	472157.50	118738.18
Aluminio (kg/d)	289111.68	<131.73	3149.40	7704.42	912.15	2156.54	168.70	816.58	255.99	-----
Arsénico (kg/d)	988.42	-----	-----	12.43	-----	-----	<1.69	-----	<17.07	-----
Bario (kg/d)	<154.44	-----	-----	<248.53	-----	-----	<33.74	-----	<28.44	-----
Berilio (kg/d)	<308.88	-----	-----	<248.53	-----	-----	<33.74	-----	<28.44	-----
Boro (kg/d)	<154.44	-----	-----	<248.53	-----	-----	<33.74	-----	<28.44	-----
Cadmio (kg/d)	<1544.40	-----	-----	<124.26	-----	-----	<16.87	-----	<14.22	<1.00
Cobalto (kg/d)	<30.89	-----	-----	<248.53	-----	-----	<33.74	-----	<<28.44	-----
Cobre (kg/d)	<154.44	-----	-----	<248.53	-----	-----	<33.74	-----	<28.44	25.70
Cromo total (kg/d)	<154.44	-----	-----	<99.41	-----	-----	<13.50	-----	<11.38	3.65
Hierro soluble (kg/d)	<154.44	-----	-----	994.12	-----	-----	438.61	-----	398.20	266.10
Manganeso (kg/d)	525.10	-----	-----	745.59	-----	-----	<33.74	-----	85.33	27.75
Mercurio (kg/d)	61.78	-----	-----	<24.85	-----	-----	<3.37	-----	<2.84	<1.734
Molibdeno (kg/d)	<3.09	-----	-----	<248.53	-----	-----	<33.74	-----	<28.44	-----
Níquel (kg/d)	<30.89	-----	-----	248.53	-----	-----	<33.74	-----	28.44	<3.65
Plomo (kg/d)	<154.44	-----	-----	<49.71	-----	-----	<6.75	-----	<5.69	<1.55
Selenio (kg/d)	<154.44	-----	-----	<12.43	-----	-----	<0.01	-----	<11.38	-----
Vanadio (kg/d)	<30.89	-----	-----	<248.53	-----	-----	<33.74	-----	<28.44	-----
Zinc (kg/d)	<154.44	-----	-----	248.53	-----	-----	<33.74	-----	<28.44	12.69
Clorofenoles Totales (g/d)	<154.44	<43908.48	<185258.88	<49705.92	<14033.09	<17252.35	<6747.84	<10207.30	<5688.58	-----
Pentaclorofenoles (g/d)	-----	<43908.48	<185258.88	<497059.20	<140.33	<172523.52	<67478.40	<102072.96	<56885.76	-----

Tabla 58. Cargas netas diarias de las características fisicoquímicas de la columna de agua de la estación 2 en el río Cruces.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero 2005
Caudal (m ³ /s)	35.60	25.24	107.02	287.60	81.00	99.70	38.90	59.00	32.90	21.13
Temperatura (°C)	11.40	9.90	9.00	9.00	9.00	9.90	13.00	14.80	14.00	17.08
pH	7.70	6.60	7.33	7.11	6.50	7.45	7.40	6.86	7.06	6.84
Conductividad (µS/cm)	97.60	96.80	74.10	40.50	62.40	50.80	86.20	76.30	117.00	145.61
Oxígeno Disuelto (kg/d)	22638.18	15744.91	66667.47	167479.83	44579.81	87863.62	33643.21	46897.92	27857.09	15683.26
DBO ₅ (kg/d)	<3075.84	42088.20	9246.53	<24848.64	<6998.40	12921.12	4033.15	6117.12	24446.02	14012.69
DQO (kg/d)	<123033.6	72574.89	13869.79	82000.51	<139968.00	<172281.60	<67219.20	<101952.00	<56851.20	47013.27
Fósforo total (kg/d)	0	65.42	924.65	670.91	<139.97	<172.28	<67.22	<101.95	<56.85	100.42
Nitratos (kg/d)	<61.52	-----	-----	7454.59	-----	-----	<336.10	-----	<284.26	112.91
Amonio (kg/d)	107.65	-----	-----	<1242.43	-----	-----	<168.05	-----	<142.13	37.41
Nitrógeno total (kg/d)	<12.30	697.84	9708.85	<2484.86	699.84	284264.64	<336.10	<509.76	483.24	214.53
SS. orgánico (kg/d)	<1537.92	4306.18	8.32	17.39	8.40	6.03	2.02	0.00-	2.84	3651.52
SS inorgánico (kg/d)	41216.26	10903.68	138605.45	59388.25	60606.14	51598.34	<3360.96	32114.88	35247.74	5522.92
S Suspendidos (kg/d)	45522.43	10905.21	138613.78	59405.64	60614.54	51604.37	<3362.98	32114.88	35250.59	9174.44
S Disueltos (kg/d)	301432.32	266049.79	1017118.08	2186680.32	713836.80	844179.84	295764.48	428198.40	432069.12	166134.86
Sólidos totales (kg/d)	346954.75	276955.00	1155731.86	2246085.96	774451.34	895784.21	299125.44	460313.28	467319.71	175309.30
Aluminio (kg/d)	2460.67	<130.84	554.79	6957.62	1679.62	1808.96	336.10	917.57	1307.58	-----
Arsénico (kg/d)	<153.79	-----	-----	12.42	-----	-----	<1.68	-----	<17.06	-----
Bario (kg/d)	<307.58	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	-----
Berilio (kg/d)	<153.79	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	-----
Boro (kg/d)	<153.79	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	-----
Cadmio (kg/d)	<1537.92	-----	-----	<124.24	-----	-----	<16.80	-----	<14.21	-----
Cobalto (kg/d)	<30.76	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	-----
Cobre (kg/d)	<153.79	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	17.94
Cromo total (kg/d)	<153.79	-----	-----	<99.39	-----	-----	<13.44	-----	<11.37	<3.65
Hierro soluble (kg/d)	584.41	-----	-----	1490.92	-----	-----	739.41	-----	710.64	579.68
Manganeso (kg/d)	61.52	-----	-----	745.46	-----	-----	<33.61	-----	56.85	12.00
Mercurio (kg/d)	<3.08	-----	-----	<24.85	-----	-----	<3.36	-----	<2.84	<1.10
Molibdeno (kg/d)	<30.76	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	-----
Níquel (kg/d)	<153.79	-----	-----	248.49	-----	-----	<33.61	-----	28.43	<3.65
Plomo (kg/d)	<153.79	-----	-----	<49.70	-----	-----	<6.72	-----	<5.69	<1.46
Selenio (kg/d)	<30.76	-----	-----	<12.42	-----	-----	<0.01	-----	<11.37	-----
Vanadio (kg/d)	<153.79	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	-----
Zinc (kg/d)	<153.79	-----	-----	745.46	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	19.67
Clorofenoles Totales (g/d)	-----	<43614.72	<184930.56	<49697.28	<13996.80	<17228.16	<6721.92	<10195.20	<5685.12	-----
Pentaclorofenoles (g/d)	-----	<43614.72	<184930.56	<49697.28	<139.97	<172281.60	<67219.20	<101952.00	<56851.20	-----

Tabla 59. Cargas netas diarias de las características fisicoquímicas de la columna de agua de la estación 3 en el río Cruces.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero 2005
Caudal (m ³ /s)	35.60	25.24	107.02	287.60	81.00	99.70	38.90	59.00	32.90	21.13
Temperatura (°C)	12.10	9.90	8.80	8.50	8.50	11.00	14.00	15.30	10.10	20.33
pH	7.60	6.60	7.04	7.10	6.50	6.92	7.33	6.91	7.65	7.15
Conductividad (μS/cm)	33.40	80.50	52.50	33.00	63.30	45.50	117.80	35.60	94.80	85.95
Oxígeno Disuelto (kg/d)	22299.84	16813.47	54646.98	177916.26	41780.45	88725.02	33912.09	45929.38	25810.44	13565.38
DBO ₅ (kg/d)	3075.84	32929.11	9246.53	24848.64	6998.40	21535.20	1680.48	5097.60	16202.59	9919.95
DQO (kg/d)	<123033.60	72574.89	14147.19	161516.16	<139968.00	<172281.60	<67219.20	117754.56	70495.49	20083.34
Fósforo total (kg/d)	<61.52	65.42	434.59	2161.83	<139.97	<172.28	<67.22	101.95	56.85	82.16
Nitratos (kg/d)	113.81	-----	-----	5218.21	-----	-----	<336.10	-----	284.26	149.05
Amonio (kg/d)	<12.303	-----	-----	<1242.43	-----	-----	<168.05	-----	142.13	103.56
Nitrógeno total (kg/d)	3998.59	676.03	11835.56	<2484.86	699.84	4565.46	<336.10	1121.47	710.64	492.95
SS. orgánico (kg/d)	4306.18	1.090	3.6986	12.424	9.798	2.58	1.680	10.195	2.84	8587.15
SS inorgánico (kg/d)	10457.86	12713.69	36893.65	34539.61	97907.62	111896.90	6720.24	20390.40	26151.55	9353.97
S Suspendidos (kg/d)	14764.03	12714.78	36897.35	34552.03	97917.41	111899.48	6721.92	20400.60	26154.39	17941.12
S Disueltos (kg/d)	322963.20	257326.85	758215.30	1640010.24	699840.00	895864.32	262154.88	101952.00	346792.32	149712.17
Sólidos totales (kg/d)	337727.23	270041.63	795112.64	1674562.27	797757.41	1007763.80	268876.80	122352.60	372946.71	167653.28
Aluminio (kg/d)	861.24	<130.84	<554.79	8945.51	839.81	1550.53	168.05	407.81	909.62	-----
Arsénico (kg/d)	<153.79	-----	-----	12.42	-----	-----	<1.680	-----	<17.06	-----
Bario (kg/d)	<307.58	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	-----
Berilio (kg/d)	<153.79	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	-----
Boro (kg/d)	<1537.92	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	-----
Cadmio (kg/d)	<30.76	-----	-----	<124.24	-----	-----	<16.80	-----	<14.21	<0.18
Cobalto (kg/d)	<153.79	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	-----
Cobre (kg/d)	<153.79	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	34.08
Cromo total (kg/d)	<153.79	-----	-----	<99.40	-----	-----	<13.444	-----	<11.37	<3.652
Hierro soluble (kg/d)	738.20	-----	-----	1242.43	-----	-----	773.02	-----	824.34	608.59
Manganeso (kg/d)	61.52	-----	-----	745.46	-----	-----	<33.61	-----	142.13	76.68
Mercurio (kg/d)	<3.076	-----	-----	<24.85	-----	-----	<3.361	-----	<2.84	<1.10
Molibdeno (kg/d)	<30.76	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	-----
Níquel (kg/d)	<153.79	-----	-----	248.49	-----	-----	<33.61	-----	170.55	<9.68
Plomo (kg/d)	<153.79	-----	-----	<49.70	-----	-----	<6.72	-----	<5.69	<1.46
Selenio (kg/d)	<30.76	-----	-----	<12.42	-----	-----	<0.013	-----	<11.37	-----
Vanadio (kg/d)	<153.79	-----	-----	<248.49	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	-----
Zinc (kg/d)	<153.79	-----	-----	745.46	-----	-----	<33.61	-----	<28.43	27.60
Clorofenoles Totales (g/d)	-----	<43614.72	<184930.56	<49697.28	<13996.80	<17228.16	<6721.92	<10195.20	<5685.12	-----
Pentaclorofenoles (g/d)	-----	<43614.72	<184930.56	<496972.80	<139.97	<172281.60	<67219.20	<101952.00	<56851.20	-----

En la Figura 53 se observa que la carga neta de Oxígeno Disuelto fue levemente menor en la estación 2 respecto a la estación 1, a excepción de los resultados correspondientes a Noviembre y Diciembre del 2004; manteniendo valores menores en la estación 3. El promedio del período en la estación 1 fue de aproximadamente 55 ton/d, en la estación 2 fue de 53 ton/d y en la estación 3 de 52 ton/d.

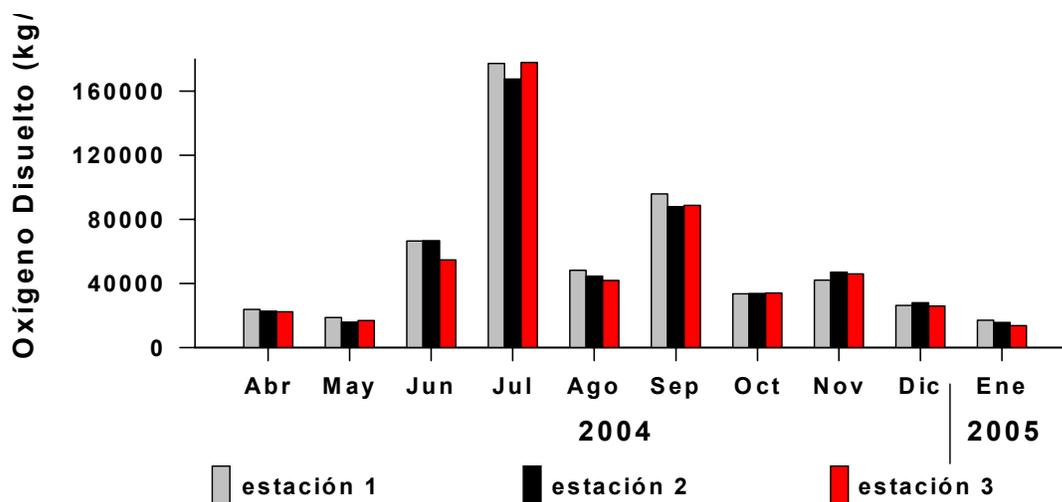


Figura 53. Carga neta diaria (kg/d) de Oxígeno Disuelto durante el período Abril-Diciembre del 2004 y Enero del 2005 en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

En la Figura 54 se observa que la carga neta diaria de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) es similar entre las tres estaciones, a excepción de los resultados de los meses de Mayo, Octubre y Noviembre del 2004 y Enero del 2005, donde se registran mayores cargas en estación 2 respecto de la estación 1. La media de la DBO_5 del período en la estación 1 fue de aproximadamente de 11 ton/d, asciende a ≈ 15 ton/d en la estación 2 y desciende a ≈ 13 ton/d en la estación 3. La carga neta diaria de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) fue similar entre las tres estaciones de muestreo (Fig. 54). La excepción fue el muestreo de Enero del 2005, donde se observa un incremento en la estación 2 respecto a la estación 1 y en Julio del 2004 donde aumenta considerablemente en la estación 1. La carga media de la DQO del período fue de ≈ 85 ton/d estación 1, de ≈ 88 ton/d en la estación 2 y de ≈ 96 ton/d en la estación 3.

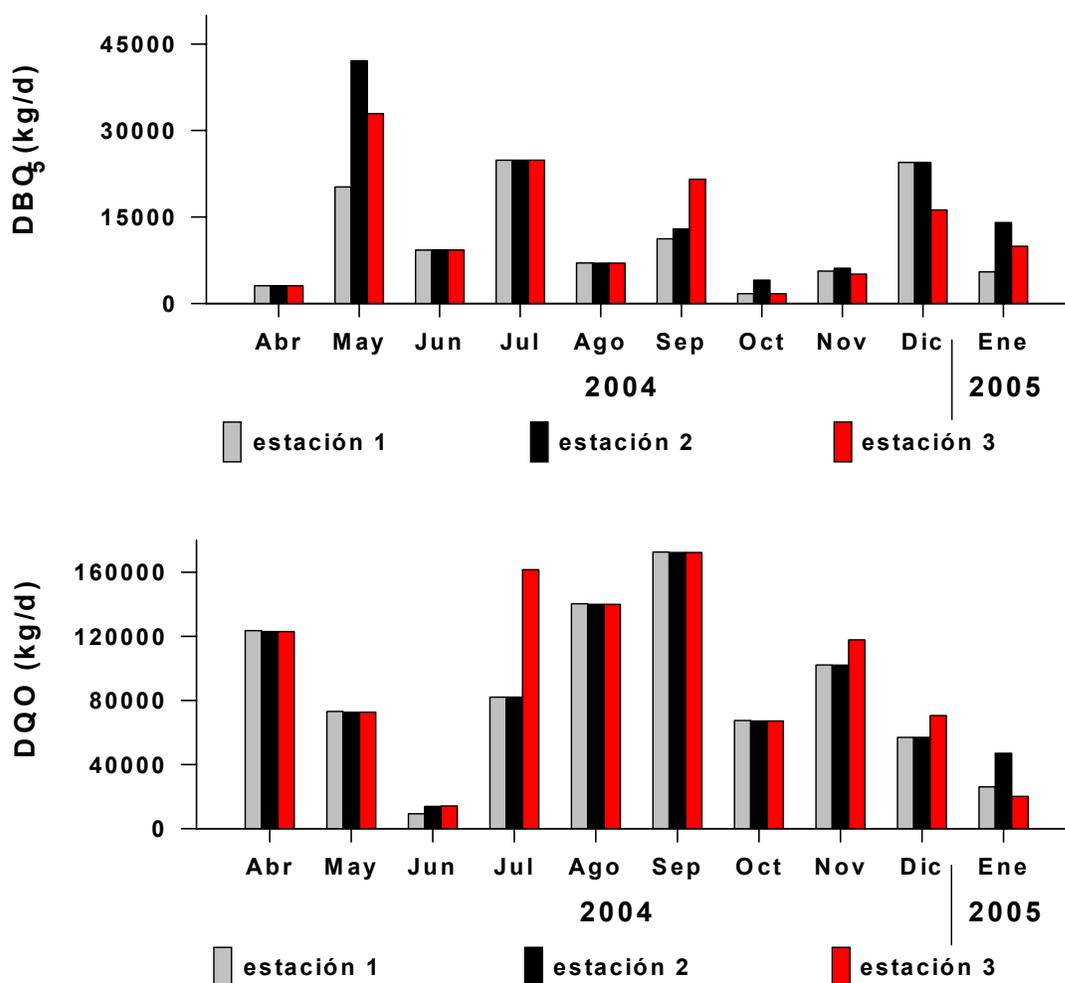


Figura 54. Carga neta diaria (kg/d) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) durante el período Abril-Diciembre del 2004 y Enero del 2005 en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

En la Figura 55 se observa que la concentración de Nitrógeno es similar entre las tres estaciones de muestreo, a excepción de los resultados del mes de Septiembre del 2004, donde se observa un fuerte ingreso de carga entre la estación 1 y la estación 2 y con respecto a la carga de la estación 1 y la estación 3. Esta carga puntual puede obedecer a un error en la información del resultado del análisis o a una gran descarga puntual. La carga promedio media período en la estación 1 es aproximadamente de 3 ton/d, se incrementa fuertemente a 30 ton/d en la estación 2 y desciende nuevamente a 3 ton/d en estación 3.

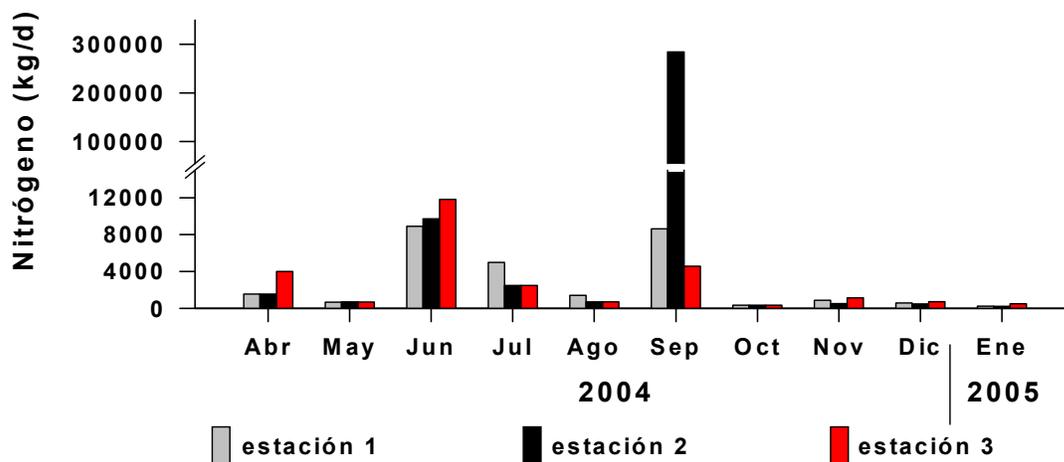


Figura 55. Carga neta diaria (kg/d) del Nitrógeno Kjeldahl durante el período Abril-Diciembre del 2004 y Enero del 2005 en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

En la Figura 56 se observa que la carga neta diaria de Fósforo total es similar entre las tres estaciones de muestreo, a excepción de los resultados del mes de Julio del 2004, donde se registran incrementos considerables entre estaciones 1 y 2 y entre estaciones 2 y 3. La carga media del período en la estación 1 fue de 189 kg/d, de 236 kg/d en la estación 2 y de 334 kg/d en la estación 3.

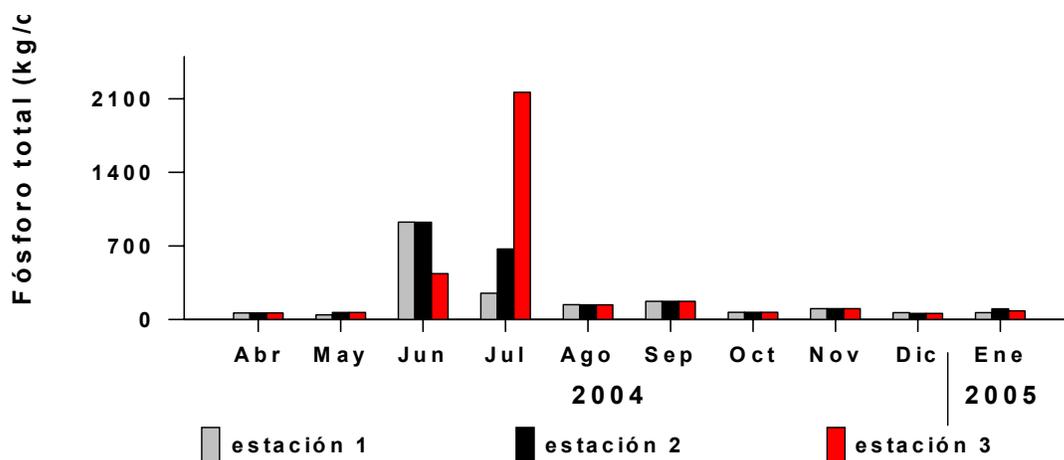


Figura 56 Carga neta diaria (kg/d) de Fósforo total durante el período Abril-Diciembre del 2004 y Enero del 2005 en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

En la Figura 57 se observa que la carga neta diaria de Sólidos Suspendidos inorgánicos muestra variaciones durante el período en cada estación de muestreo. Las menores cargas se registraron en la estación 1 y se ven incrementadas en la estación 2, las que tienden a bajar en la estación 3 (con excepción de los meses de Agosto, Septiembre y Octubre del 2004 y Enero del 2005). La carga media del período en la estación 1 fue de aproximadamente 33 ton/d, en la estación 2 de 44 ton/d y en la estación 3 de 37 ton/d.

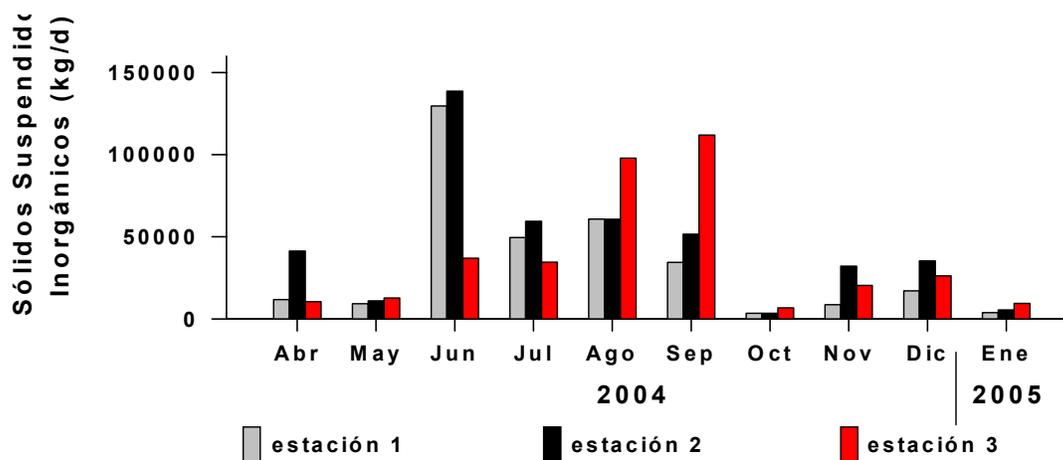


Figura 57. Carga neta diaria (kg/d) de Sólidos Suspendidos inorgánicos durante el período Abril-Diciembre del 2004 y Enero del 2005 en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

En la Figura 58 se observa que la carga neta diaria de Sólidos Disueltos es siempre menor en la estación 1 respecto a la estación 2, a excepción del resultado del mes de Diciembre del 2004 que es mayor en la estación 1 respecto a la estación 2. La carga media del período para los Sólidos Disueltos en la estación 1 fue de 543 ton/d, se incrementa en la estación 2 a 665 ton/d y desciende en la estación 3 a 543 ton/d.

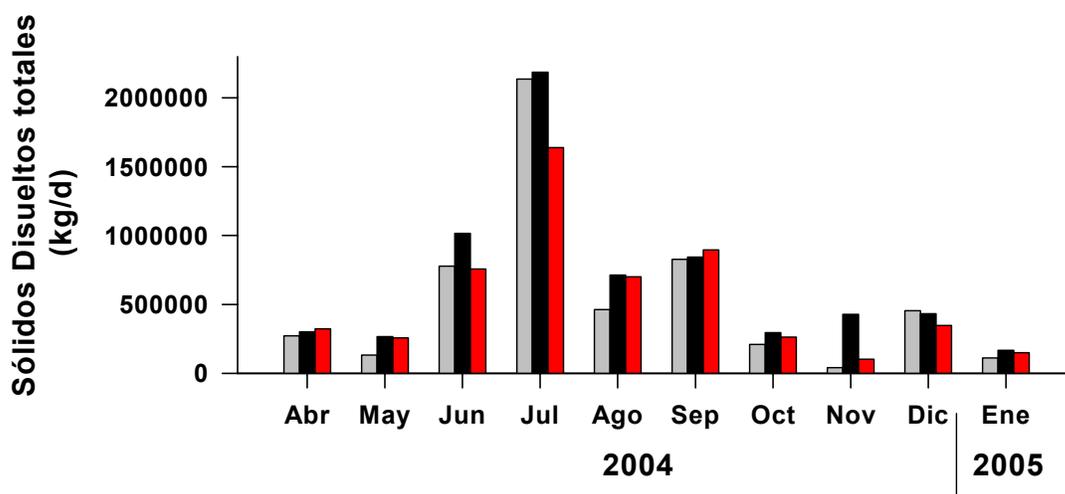


Figura 58. Carga neta diaria (kg/d) de Sólidos Disueltos totales durante el período Abril-Diciembre del 2004 y Enero del 2005 en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

En la Figura 59 se observa que las cargas netas diarias asociadas al Aluminio muestran fuertes variaciones entre estaciones de muestreo y durante todo el período. Llama la atención que durante el mes de Junio del 2004, la estación 1 mostró una altísima carga que disminuye bruscamente en el trayecto a la estación 2 (aguas abajo). Diferencias importantes se presentan en Abril, Agosto y Diciembre del 2004, donde se incrementa fuertemente la carga de Aluminio en la estación 2 respecto de la estación 1. Sin embargo, las cargas promedios de Aluminio en las estaciones 1 y 2 fue de alrededor de 1.8 ton/d, y levemente menor en la estación 3 con 1.6 ton/d.

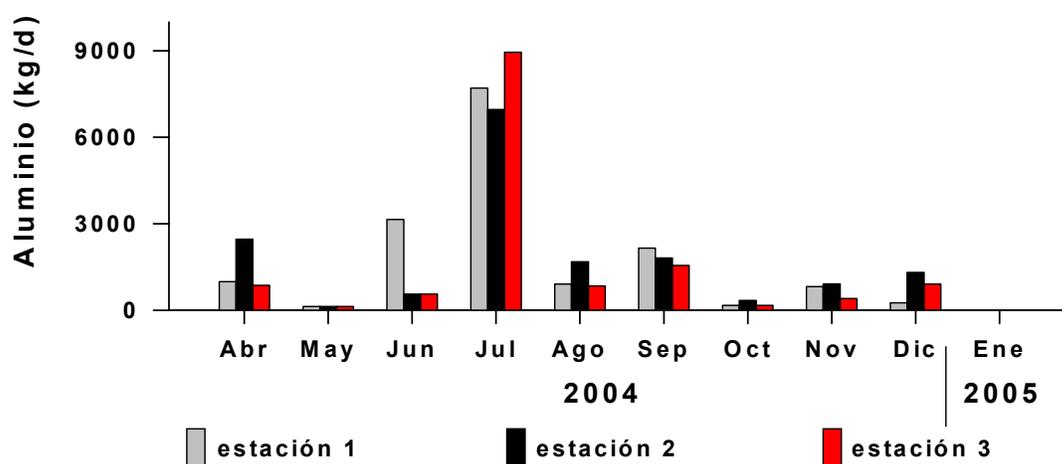


Figura 59. Carga neta diaria (kg/d) de Aluminio durante el período Abril-Diciembre del 2004 en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

En la Figura 60 se observa que la concentración de Hierro soluble fue siempre mayor en la estación 2 respecto a la estación 1, particularmente en Julio del 2004. Las cargas medias asociadas al Hierro soluble aumentan aguas abajo, con un valor en la estación 1 de 524 ton/d, y de 821 en la estación 2 y de 837 ton/d en la estación 3. El incremento entre tramos no es proporcional ni sostenido, ya que el mayor incremento se registra en el tramo entre estación 1 y estación 2, con un aporte aproximado de 297 kg/d.

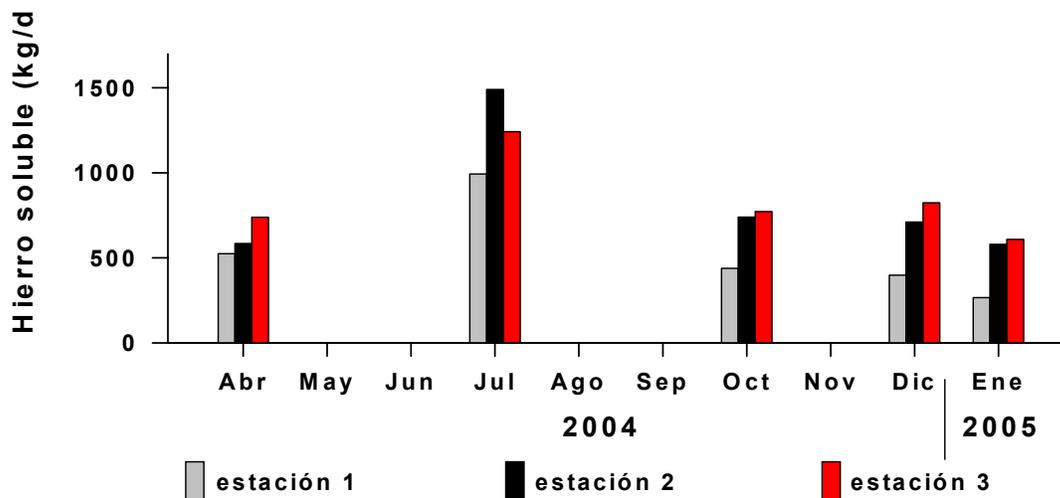


Figura 60. Carga neta diaria (kg/d) de Hierro soluble durante el período Abril-Diciembre del 2004 y Enero del 2005 en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

En la Figura 61 se observa que la carga neta diaria asociada al Manganeseo en Abril, Julio y Octubre del 2004 muestra valores similares en las tres estaciones de muestreo. Llama la atención que durante los meses de Diciembre del 2004 y Enero del 2005, se registraron menores cargas en la estación 2, respecto de la estación 1 y fuertes incrementos en la estación 3. La carga promedio en el período para el Manganeseo en la estación 1 fue de alrededor de 191 kg/d, de 182 kg/d en estación 2 y alrededor de 212 kg/d en la estación 3.

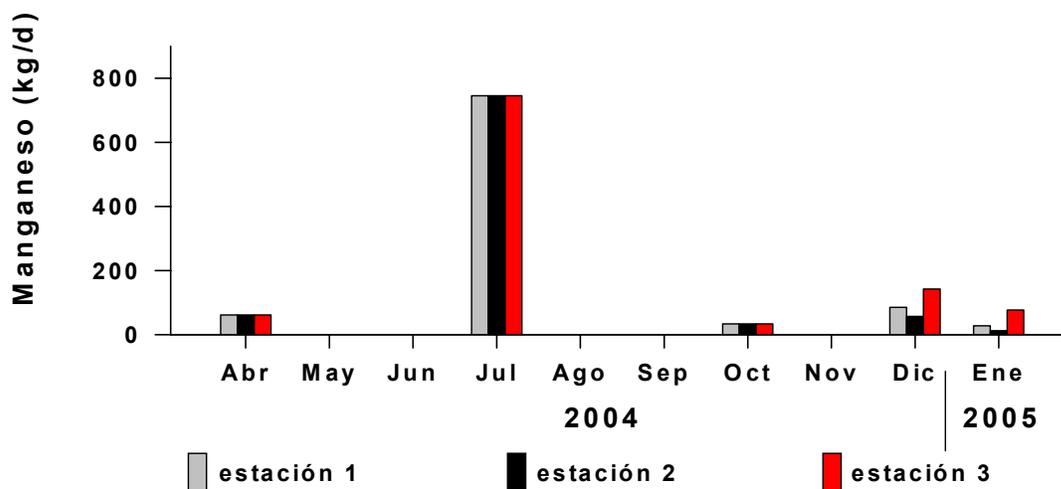


Figura 61. Carga neta diaria (kg/d) de Manganeso durante el período Abril-Diciembre del 2004 y Enero del 2005 en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

En la Figura 62 se observa que las cargas netas diarias asociadas al Zinc en los meses de Abril, Octubre y Diciembre del 2004, registran valores similares en las tres estaciones. Particularmente se observa un fuerte incremento en la estación 2 respecto a la estación 1 durante Julio del 2004, manteniéndose la carga en la estación 3. En Enero del 2005 también se registra un incremento en la estación 2, menor, pero incrementándose luego en la estación 3. La carga media de Zinc asociada al período en la estación 1 es alrededor de 96 kg/d, y alrededor de 196 y 198 kg/d en estación 2 y estación 3, respectivamente. El incremento de Zn se produce en el tramo entre la estación 1 y la estación 2, con un aporte de carga de 10 kg/d, que se debe mayoritariamente a la carga asociada al mes de Julio del 2004.

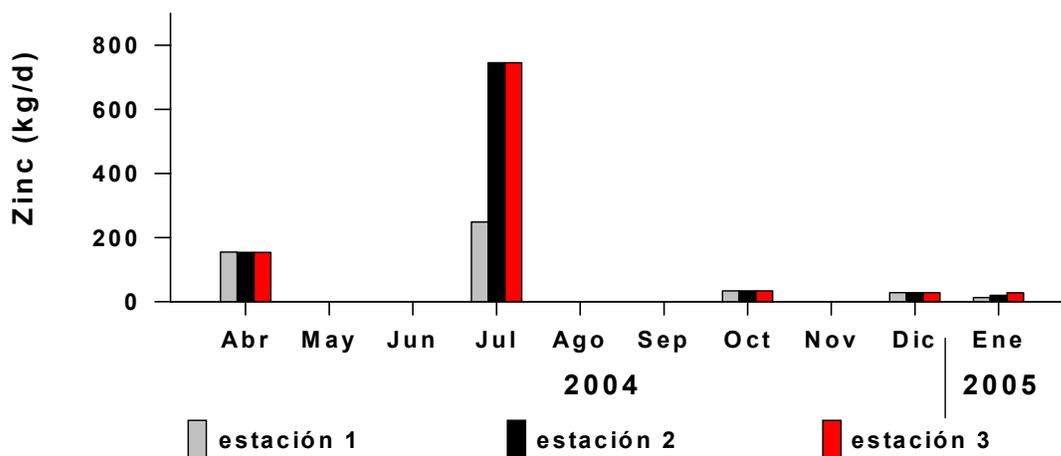


Figura 62. Carga neta diaria (kg/d) de Zinc durante el período Abril-Diciembre del 2004 y Enero del 2005 en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

Otro parámetro que registró fuertes incrementos entre estación 1 y estación 2 durante el período de Abril a Diciembre del 2004 es el Sulfato (Fig. 63). La carga neta asociada a la estación 1 en Julio del 2004 fue de 12.4 ton/d, se incrementó en la estación 2 a 59.6 ton/d ((después de la descarga del Efluente CELCO) y se mantuvo en 57.2 ton/d en la estación 3. En Octubre y Diciembre del 2004, se registraron cargas netas diarias en la estación 1 de 1.7 y 1.4 ton/d respectivamente, que también se incrementaron fuertemente en la estación 2, a valores de 30.6 ton/d en Octubre del 2004 y 42.6 ton/d en Diciembre del 2004; mientras que en la estación 3 se registraron valores de 23.2 y 39.8 ton/d, respectivamente. Los incrementos de carga de Sulfato se producen estrictamente en el tramo comprendido entre las estaciones 1 y 2, siendo sostenidos durante el período de muestreo en el río Cruces.

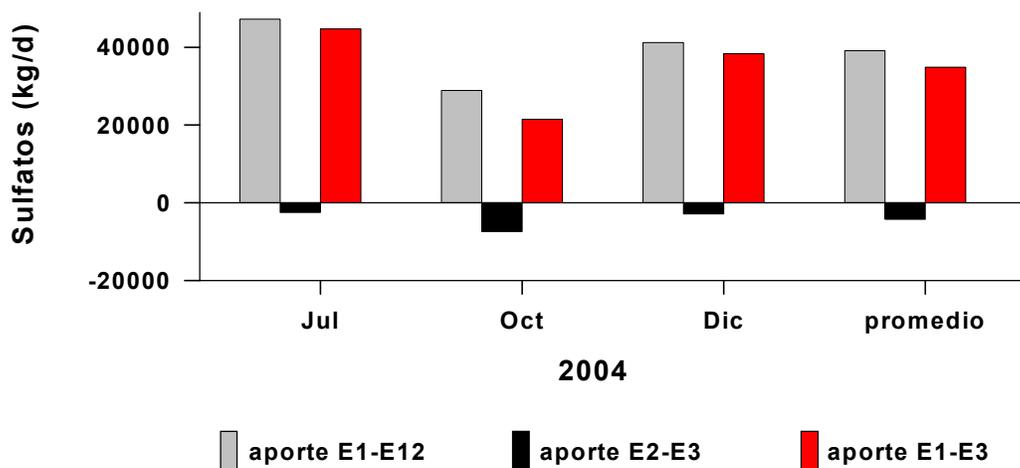


Figura 63. Carga neta diaria (kg/d) de Sulfatos durante Julio, Octubre y Diciembre del 2004 en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces. Se incluye valor promedio del periodo.

En la Figura 64 se presentan las respectivas cargas netas diarias asociadas al Clorato para el período Abril a Diciembre del 2004, donde se registraron mayoritariamente cargas similares para las tres estaciones de muestreo; a excepción del mes de Abril del 2004, donde existe diferencia notorias entre la carga de la estación 1 (menor a 247.1 kg/d) respecto a la estación 2 (1 845.5 kg/d). Cabe señalar que durante el muestreo de Abril del 2004 la carga asociada al Ril del Efluente CELCO fue de 2136.1 kg/día. Lo anterior, coincide con el aumento registrado en el monitoreo de la calidad del agua del río Cruces. Dada la alta variabilidad de la concentración del Clorato registrada en los Muestreos Semanales, se estima que existe una alta probabilidad de ocurrencia de más eventos como el registrado en Abril del 2004 durante el resto del período.

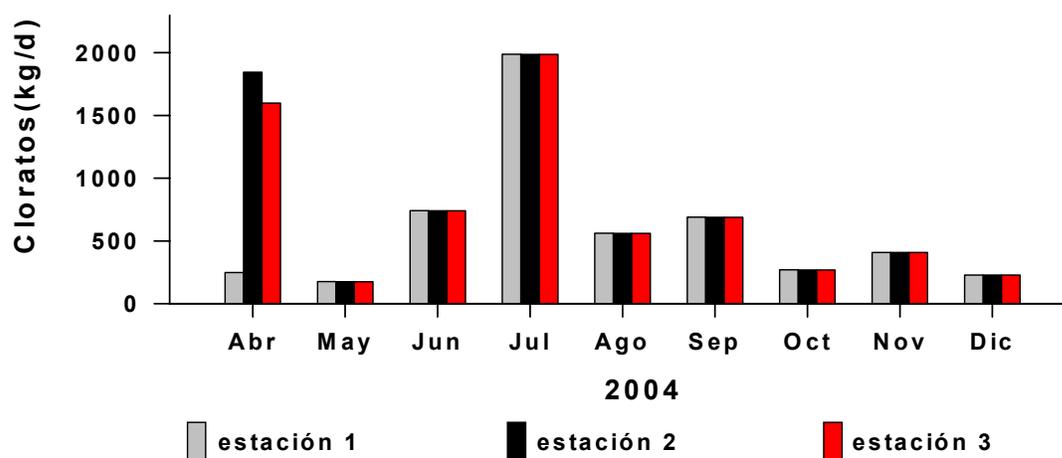


Figura 64. Carga neta diaria (kg/d) de Cloratos durante el período Abril-Diciembre del 2004 en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

Las cargas netas asociadas al Cloruro en la estación 2 fueron de mayor magnitud a las registradas en la estación 1 (aguas arriba de la descarga del efluente CELCO), a excepción del mes de Abril del 2004. Sin embargo, durante el período de operación de la Planta, el promedio de carga de la estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO) fue de 42.2 ton/d contra 30.7 ton/d que registra la estación 1 (aguas arriba). En la estación 3, la carga promedio de 37.7 ton/d, es menor a la de la estación 2, pero no alcanza la magnitud de la registrada en estación 1. Situación similar a la anterior registra el Sodio, donde se observa un incremento de carga entre las estaciones 1 y 2, de 20.7 ton/d a 50.8 ton/d; mientras que en la estación 3 se mantiene en 51.6 ton/d (ver Anexo 3).

La carga neta asociada a los AOX siempre fue mayor en la estación 2 (después de la descarga del Efluente CELCO) respecto a la estación 1 (aguas arriba). La carga promedio del período Abril a Junio del 2004 en la estación 1 fue de 17.42 kg/d, mientras que en la estación 2 se incrementa a 132.82 kg/d. Aguas abajo, al ingreso del Humedal, se registró una menor carga neta de sólo 75.96 kg/d, pero superior a la registrada en la estación 1 (ver Anexo 3).

De lo anterior se puede concluir que los incrementos en cargas medias netas diarias entre la estación 1 y la estación 2, aguas abajo después de la descarga del Ril, están asociados principalmente a **Nitrógeno total, Sólidos Suspendidos inorgánicos, Sólidos Disueltos, Hierro soluble, Zinc, Sulfato, Clorato, Cloruro, Sodio y AOX**, lo que supone un ingreso de carga entre las estaciones 1 y 2.

Análisis de aportes de cargas netas diarias en la columna de agua del río Cruces

En Tablas 60, 61 y 62 se presentan las diferencias o aportes de las cargas diarias netas asociadas a las concentraciones de la calidad del agua del río Cruces para los diferentes tramos asociados a las estaciones 1, 2 y 3, respectivamente, durante el período de Abril del 2004 a Enero del 2005. Específicamente la Tabla 60 corresponde a las diferencias de las cargas netas diarias asociadas a la columna de agua del río Cruces entre la estación 2 respecto a la estación 1; en este tramo en particular se encuentra la descarga del Ril de la Planta de Celulosa. La Tabla 61 corresponde a las diferencias de las cargas netas diarias asociadas a la columna de agua del río Cruces entre la estación 3 (Ingreso Humedal) y respecto a la estación 2 (Rucaco) y en la Tabla 62 se presentan las diferencias de las de las cargas netas diarias asociadas a la columna de agua del río Cruces entre la estación 3 respecto a la estación 1.

Tabla 60. Aporte en la carga de las características fisicoquímicas de la columna de agua en el río Cruces entre la estación 1 y la estación 2 durante Abril del 2004 a Enero del 2005.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero 2005
Temperatura (°C)	-0.10	0.00	0.00	-1.10	-1.10	-0.10	0.50	0.50	4.00	0.18
pH	0.00	0.00	0.02	-0.12	-0.40	0.04	-0.09	-0.03	0.24	0.01
Conductividad (μS/cm)	41.70	54.20	45.50	11.20	35.20	19.40	45.70	-14.10	79.50	106.00
Oxígeno Disuelto (kg/d)	-1145.58	-2938.14	252.16	-9721.77	-3623.85	-7886.94	106.44	4843.86	1632.75	-1314.55
DBO ₅ (kg/d)	-12.96	21890.30	-16.42	-4.32	-18.14	1707.09	2346.19	503.11	-14.86	8535.42
DQO (kg/d)	-518.40	-488.82	4606.85	-14.26	-362.88	-241.92	-259.20	-120.96	-34.56	20996.22
Fósforo Total (kg/d)	-0.26	21.51	-1.64	422.38	-0.36	-0.24	-0.26	-0.12	-7.05	36.52
Nitratos (kg/d)	2.64	-----	-----	1738.41	-----	-----	-35.04	-----	-0.17	4.34
Amonio (kg/d)	-0.05	-----	-----	-74.77	-----	-----	-0.65	-----	-0.09	-15.95
Nitrógeno Total (kg/d)	-6.48	39.21	816.43	-2485.73	-703.47	275638.46	-1.30	-357.86	-85.62	-13.69
SS. orgánico (kg/d)	-1253.66	0.21	2.76	-2.49	1.38	2.58	1.68	-15.31	-2.85	91.29
SS inorgánico (kg/d)	29478.82	1748.76	9016.87	9930.86	-157.13	17179.90	-12.96	23438.68	18182.02	1688.83
S Suspendidos (kg/d)	28225.15	1748.97	9019.63	9928.37	-155.75	17182.48	-11.28	23423.37	18179.17	1780.12
Sólidos. Disueltos (kg/d)	29617.92	134324.35	239030.78	49325.76	250744.90	16066.94	86581.44	387369.22	-23016.96	54791.00
Sólidos totales (kg/d)	57843.07	136073.32	248050.42	59254.13	250589.15	33249.42	86568.14	410792.58	-4837.79	56571.12
Aluminio (kg/d)	1472.26	-0.88	-2594.61	-746.80	767.47	-347.59	167.40	100.98	1051.59	-----
Arsénico (kg/d)	-0.65	-----	-----	0.00	-----	-----	-----	-----	-0.01	-----
Bario (kg/d)	-1.30	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Berilio (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Boro (kg/d)	-6.48	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Cadmio (kg/d)	-0.13	-----	-----	-0.02	-----	-----	-0.06	-----	-0.01	-1.00
Cobalto (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Cobre (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-7.76
Cromo total (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.02	-----	-----	-0.05	-----	-0.01	-----
Hierro soluble (kg/d)	59.31	-----	-----	496.80	-----	-----	300.80	-----	312.44	313.58
Manganeso (kg/d)	-0.26	-----	-----	-0.13	-----	-----	-0.13	-----	-28.48	-15.75
Mercurio (kg/d)	-0.01	-----	-----	0.00	-----	-----	-0.01	-----	0.00	-0.64
Molibdeno (kg/d)	-0.13	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Níquel (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Plomo (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.01	-----	-----	-0.03	-----	0.00	-0.09
Selenio (kg/d)	-0.13	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	-0.01	-----
Vanadio (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Zinc (kg/d)	-0.65	-----	-----	496.93	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	6.98
Clorofenoles Totales (g/d)	-----	-293.76	-328.32	-8.64	-36.29	-24.19	-25.92	-12.10	-3.46	-----
Pentaclorofenoles (g/d)	-----	-293.76	-328.32	-86.40	-0.36	-241.92	-259.20	-120.96	-34.56	-----

Tabla 61. Aporte en la carga de las características fisicoquímicas de la columna de agua en el río Cruces entre la estación 2 y la estación 3 durante Abril del 2004 a Enero del 2005.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero 2005
Temperatura (°C)	0.70	0.00	-0.20	-0.50	-0.50	1.10	1.00	0.50	-3.90	3.25
pH	-0.10	0.00	-0.29	-0.01	0.00	-0.53	-0.07	0.05	0.59	0.31
Conductividad (μS/cm)	-64.20	-16.30	-21.60	-7.50	0.90	-5.30	31.60	-40.70	-22.20	-59.66
Oxígeno Disuelto (kg/d)	-338.34	1068.56	-12020.49	10436.43	-2799.36	861.41	268.88	-968.54	-2046.64	-2117.88
DBO ₅ (kg/d)	0.00	-9159.09	0.00	0.00	0.00	8614.08	-2352.67	-1019.52	-8243.42	-4092.74
DQO (kg/d)	0.00	0.00	277.40	79515.65	0.00	0.00	0.00	15802.56	13644.29	-26929.93
Fósforo Total (kg/d)	0.00	0.00	-490.07	1490.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-18.26
Nitratos (kg/d)	6.15	-----	-----	-2236.38	-----	-----	0.00	-----	0.00	36.14
Amonio (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	66.15
Nitrógeno Total (kg/d)	2460.67	-21.81	2126.70	0.00	0.00	-279699.18	0.00	611.71	227.40	278.42
SS. orgánico (kg/d)	0.00	-0.44	-4.62	-4.97	1.40	-3.45	-0.34	10.20	0.00	4935.63
SS inorgánico (kg/d)	-30758.40	1810.01	-101711.81	-24848.64	37301.47	60298.56	3359.28	-11724.48	-9096.19	3831.05
S Suspendidos (kg/d)	-30758.40	1809.57	-101716.43	-24853.61	37302.87	60295.11	3358.94	-11714.28	-9096.19	8766.68
Sólidos. Disueltos (kg/d)	21530.88	-8722.94	-258902.78	-546670.08	-13996.80	51684.48	-33609.60	-326246.40	-85276.80	-16422.69
Sólidos totales (kg/d)	-9227.52	-6913.37	-360619.22	-571523.69	23306.07	111979.59	-30248.64	-337960.68	-94372.99	-7656.02
Aluminio (kg/d)	-1599.44	0.00	0.00	1987.89	-839.81	-258.42	-168.05	-509.76	-397.96	-----
Arsénico (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	-----
Bario (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	-----
Berilio (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	-----
Boro (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	-----
Cadmio (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	0.18
Cobalto (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	-----
Cobre (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	16.14
Cromo total (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	0.00
Hierro soluble (kg/d)	153.79	-----	-----	-248.49	-----	-----	33.61	-----	113.70	28.91
Manganeso (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	85.28	64.68
Mercurio (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	0.00
Molibdeno (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	-----
Níquel (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	142.13	6.03
Plomo (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	0.00
Selenio (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	-----
Vanadio (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	-----
Zinc (kg/d)	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	0.00	7.93
Clorofenoles Totales (g/d)	-----	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-----
Pentaclorofenoles (g/d)	-----	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-----

Tabla 62. Aporte en la carga de las características fisicoquímicas de la columna de agua en el río Cruces entre la estación 1 y la estación 3 durante Abril del 2004 a Enero del 2005.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero 2005
Temperatura (°C)	0.60	0.00	-0.20	-1.60	-1.60	1.00	1.50	1.00	0.10	20.33
pH	-0.10	0.00	-0.27	-0.13	-0.40	-0.49	-0.16	0.02	0.83	7.15
Conductividad (μS/cm)	-22.50	37.90	23.90	3.70	36.10	14.10	77.30	-54.80	57.30	85.95
Oxígeno Disuelto (kg/d)	-1483.92	-1869.58	-11768.33	714.66	-6423.21	-7025.53	375.32	3875.32	-413.89	-3432.43
DBO ₅ (kg/d)	-12.96	12731.21	-16.42	-4.32	-18.14	10321.17	-6.48	-516.41	-8258.28	4442.68
DQO (kg/d)	-518.40	-488.82	4884.24	79501.39	-362.88	-241.92	-259.20	15681.60	13609.73	-5933.71
Fósforo Total (kg/d)	-0.26	21.51	-491.71	1913.30	-0.36	-0.24	-0.26	-0.12	-7.05	18.26
Nitratos (kg/d)	8.79	-----	-----	-497.97	-----	-----	-35.04	-----	-0.17	40.48
Amonio (kg/d)	-0.05	-----	-----	-74.77	-----	-----	-0.65	-----	-0.09	50.20
Nitrógeno Total (kg/d)	2454.19	17.40	2943.13	-2485.73	-703.47	-4060.71	-1.30	253.85	141.78	264.73
SS. orgánico (kg/d)	-1253.66	-0.23	-1.86	-7.46	2.78	-0.87	1.34	-5.12	-2.85	5026.92
SS inorgánico (kg/d)	-1279.58	3558.77	-92694.94	-14917.78	37144.34	77478.46	3346.32	11714.20	9085.82	5519.88
S Suspendidos (kg/d)	-2533.25	3558.55	-92696.80	-14925.24	37147.13	77477.59	3347.66	11709.08	9082.98	10546.80
Sólidos. Disueltos (kg/d)	51148.80	125601.41	-19872.00	-497344.32	236748.10	67751.42	52971.84	61122.82	-108293.76	38368.31
Sólidos totales (kg/d)	48615.55	129159.95	-112568.80	-512269.56	273895.22	145229.01	56319.50	72831.90	-99210.78	48915.10
Aluminio (kg/d)	-127.18	-0.88	-2594.61	1241.09	-72.34	-606.01	-0.65	-408.78	653.63	-----
Arsénico (kg/d)	-0.65	-----	-----	0.00	-----	-----	-0.01	-----	-0.01	-----
Bario (kg/d)	-1.30	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Berilio (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Boro (kg/d)	-6.48	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Cadmio (kg/d)	-0.13	-----	-----	-0.02	-----	-----	-0.06	-----	-0.01	-0.82
Cobalto (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Cobre (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	8.38
Cromo total (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.02	-----	-----	-0.05	-----	-0.01	-----
Hierro soluble (kg/d)	213.11	-----	-----	248.31	-----	-----	334.41	-----	426.14	342.49
Manganeso (kg/d)	-0.26	-----	-----	-0.13	-----	-----	-0.13	-----	56.80	48.93
Mercurio (kg/d)	-0.01	-----	-----	0.00	-----	-----	-0.01	-----	0.00	-0.64
Molibdeno (kg/d)	-0.13	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Níquel (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	142.11	6.03
Plomo (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.01	-----	-----	-0.03	-----	0.00	-0.09
Selenio (kg/d)	-0.13	-----	-----	0.00	-----	-----	0.00	-----	-0.01	-----
Vanadio (kg/d)	-0.65	-----	-----	-0.04	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	-----
Zinc (kg/d)	-0.65	-----	-----	496.93	-----	-----	-0.13	-----	-0.02	14.91
Clorofenoles Totales (g/d)	-----	-293.76	-328.32	-8.64	-36.29	-24.19	-25.92	-12.10	-3.46	0.00
Pentaclorofenoles (g/d)	-----	-293.76	-328.32	-86.40	-0.36	-241.92	-259.20	-120.96	-34.56	0.00

En las Figuras 65 a 72 se presentan los aportes o diferencias (positivos y negativos) de los parámetros de la calidad de agua del río Cruces para el período analizado entre Abril del 2004 a Enero del 2005 para los tramos, E1-E2, E2-E3 y el aporte de la suma de los dos tramos anteriores E1-E3.

En Tabla 60 se observa que las diferencias positivas para el tramo entre estación 1 y estación 2 (Aporte E1-E2) corresponden mayoritariamente a DBO₅, (Fig. 65), DQO (Fig. 66), Nitrógeno total donde destaca un evento importante en Septiembre del 2004 (Fig. 67), Sólidos Suspendidos inorgánicos (Fig. 68), Sólidos Disueltos (Fig. 69), Hierro soluble (Fig. 70) y Zinc (Fig. 71) La diferencia o aporte promedio de carga diaria neta del período Abril del 2004 a Enero del 2005 para el tramo E1-E2 (entre estación 1 y estación 2) para los diferentes parámetros corresponden a ≈ 3.5 ton/d DBO₅, a ≈ 2.4 ton/d DQO, ≈ 27.3 ton/d de Nitrógeno total, a ≈ 11 ton/d de Sólidos Suspendidos inorgánicos, a ≈ 122.5 ton/d de Sólidos Disueltos, a ≈ 296.6 kg/d de Hierro soluble y a ≈ 100.6 kg/d de Zinc, el cual se produce mayoritariamente en un solo evento asociado al mes de Julio 2004.

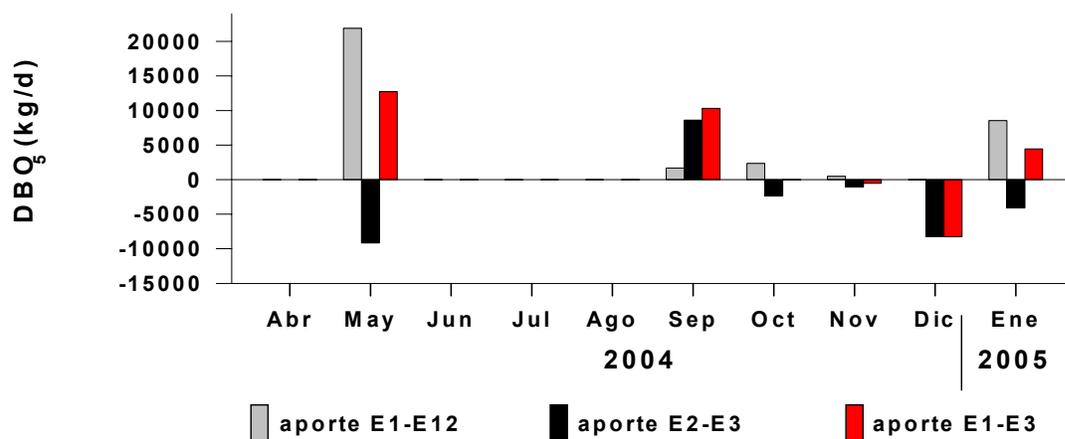


Figura 65. Aporte en las cargas de DBO₅ entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

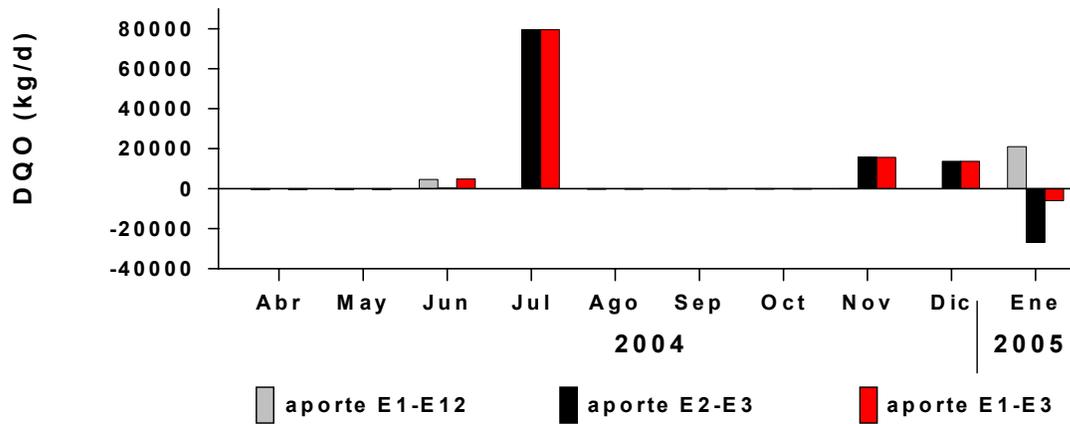


Figura 66. Aporte en las cargas de DQO entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

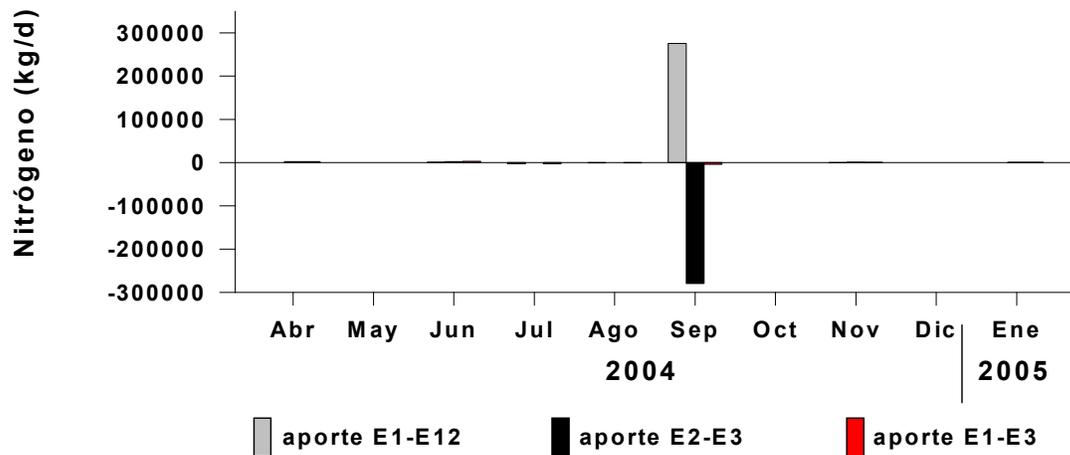


Figura 67. Aporte en las cargas de Nitrógeno entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

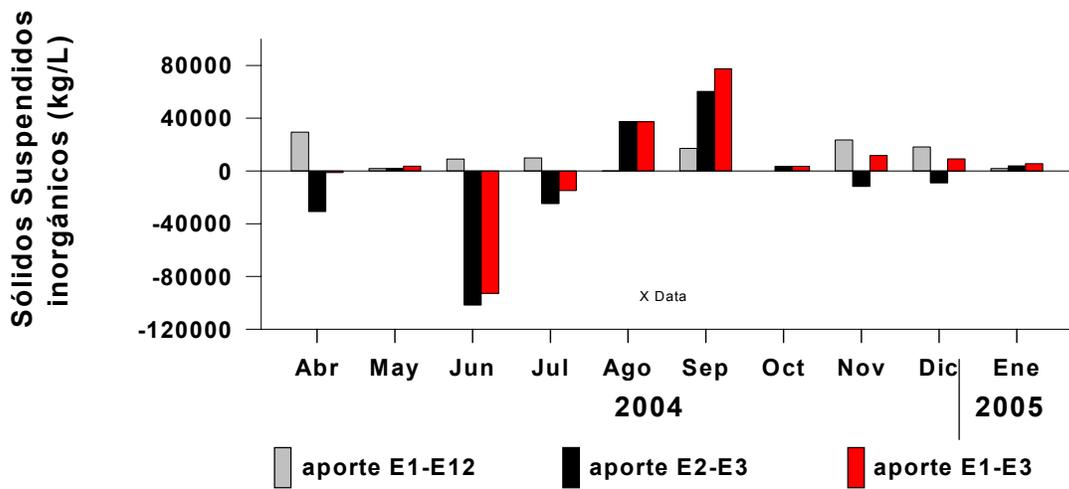


Figura 68. Aporte en las cargas de Sólidos Suspendedos inorgánicos entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3).

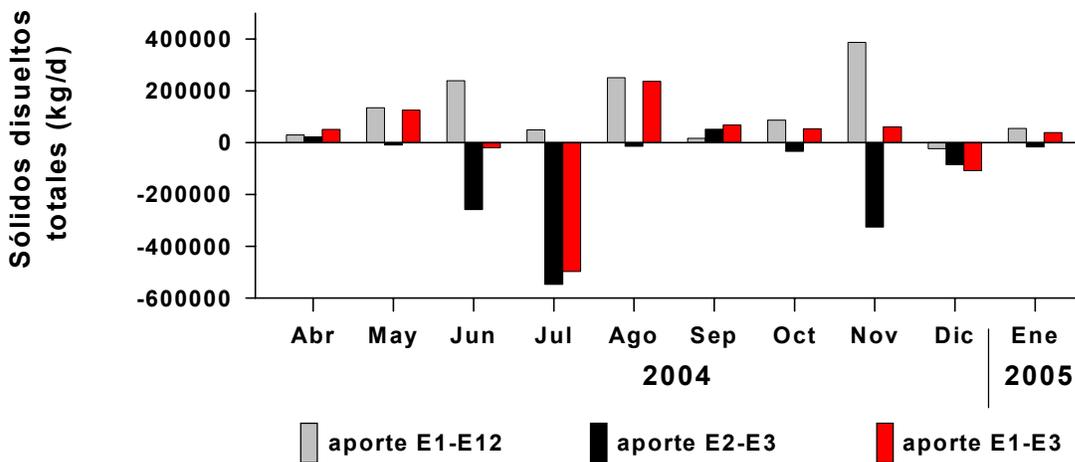


Figura 69. Aporte en las cargas de Sólidos Suspendedos inorgánicos entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

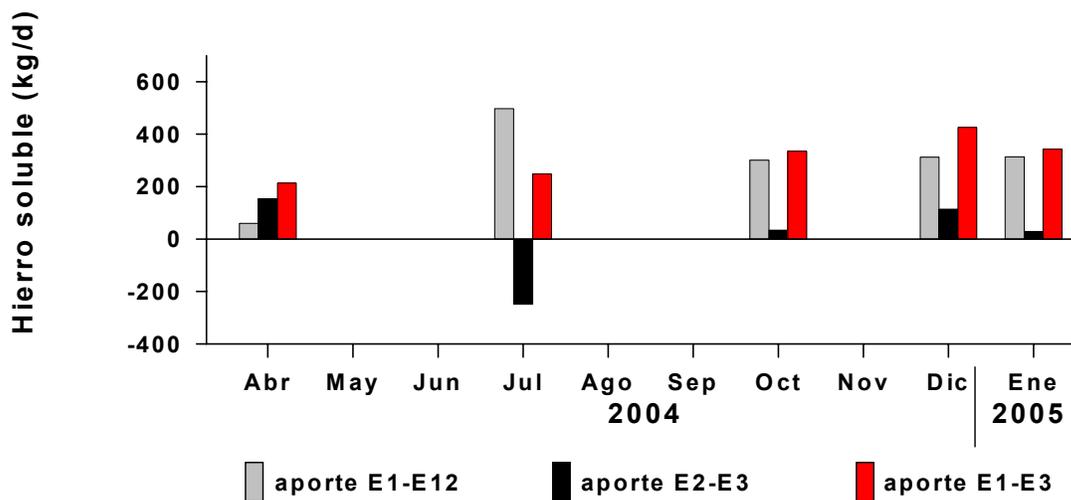


Figura 70. Aporte en las cargas de Hierro entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

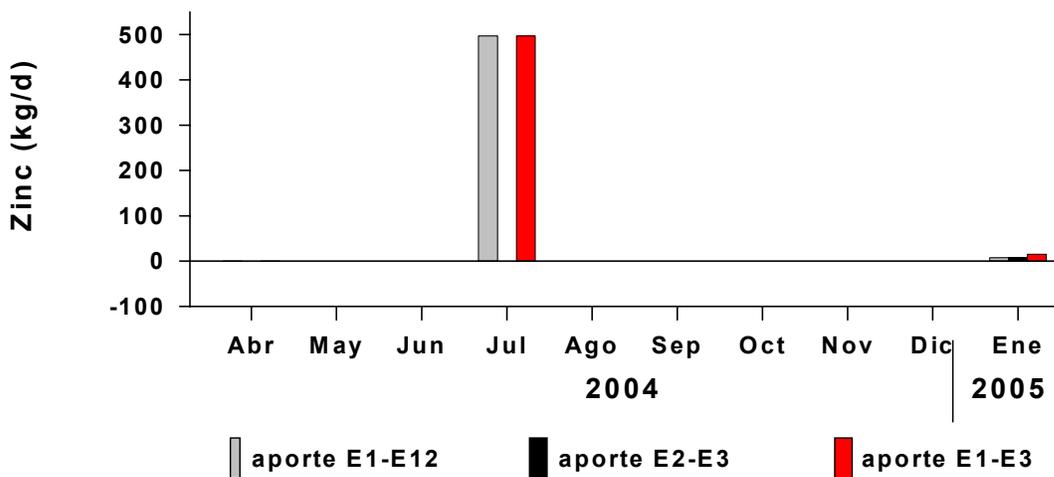


Figura 71. Aporte en las cargas de Zinc entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

En la Figura 72 se observa que el aporte de la carga diaria media de Sulfato en las aguas del río Cruces en el tramo E1-E2, tras la descarga del Efluente CELCO, se incrementa de Julio a Diciembre del 2004, con un aporte promedio significativo de ≈ 39.1 ton/d durante el período. Mientras que en la Figura 73 se observa un aporte puntual de carga diaria neta de Cloratos en la columna de agua del río Cruces asociada al muestreo del mes de Abril del 2004, de $\approx 1.598.44$ kg/d, que coincidiría en magnitud con la carga asociada a la descarga del Ril de ≈ 2.1 ton/d de Cloratos. Durante los meses restantes no se observan aportes de carga en el tramo E1-E2, lo cual no indica que no hayan existido eventos como el registrado en Abril del 2004, pues como se citó anteriormente, existe una alta variabilidad en las concentraciones de este parámetro en los Muestréos Semanales del Ril.

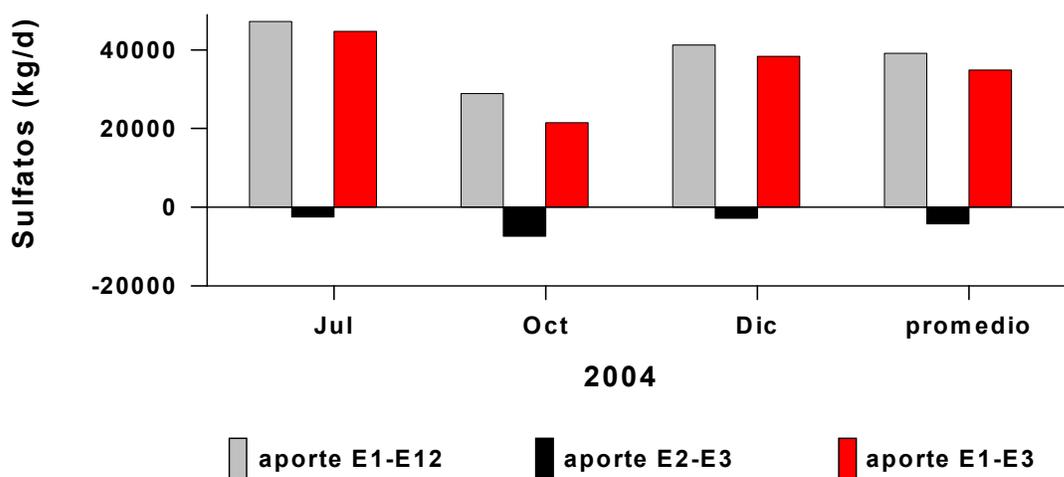


Figura 72. Aporte en las cargas de Sulfatos entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

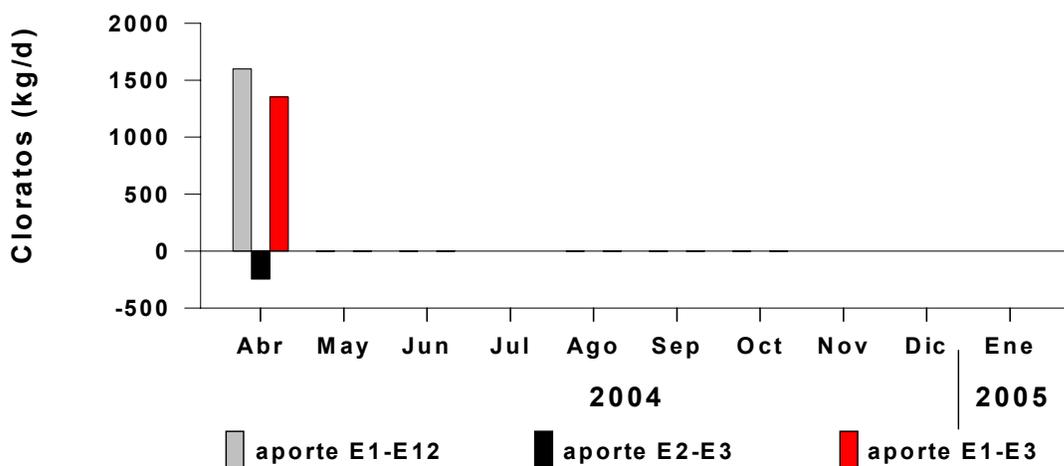


Figura 73. Aporte en las cargas de Cloratos entre las estaciones 1 y 2 (aporte E1-E2), 2 y 3 (aporte E2-E3) y entre las estaciones 1 y 3 (aporte E1-E3) en el río Cruces.

En Esquemas de Anexo 3 se observa que otros aportes positivos en el tramo E1-E2 corresponden a Cloruros, Sodio y AOX. El aporte de la carga diaria media de Sulfato en las aguas del río Cruces en el tramo E1-E2, tras la descarga del Efluente CELCO, fue de ≈ 11.4 ton/d durante el período Abril a Diciembre del 2004; mientras que para el Sodio fue de 30.1 ton/d. El aporte de carga neta promedio de AOX en el tramo E1-E2 (que incluye la descarga del Efluente CELCO) fue de 115.4 kg/d para el período de Abril a Junio del 2004, registrando una variación desde un aporte de carga mínimo de 67.6 kg/d en el mes de Mayo del 2004, a un máximo de 180.2 kg/d en el mes de Junio del 2004.

En Tabla 61 se presentan los datos de las diferencias de carga neta diaria en la columna de agua del río Cruces para el tramo siguiente aguas abajo, entre la estación 2 y estación 3 (aporte E2-E3), donde los parámetros de DBO_5 , Nitrógeno total, Sólidos Suspendidos inorgánicos y Sólidos Disueltos registran aportes negativos de carga y los parámetros DQO, Hierro soluble y Zinc registran aportes positivos de carga en el tramo E2-E3. La DBO_5 (Fig. 65) registra mayoritariamente aportes negativos a excepción del aporte asociado al mes de Septiembre del 2004; el promedio del período es de ≈ -1.6 ton/d. Mientras que el aporte de carga de la DQO en el tramo E2-E3 es positivo con un aporte promedio del período de ≈ 8.2 ton/d (Fig. 66). El aporte de la carga de Nitrógeno

total (Fig. 67), muestra un evento puntual de aporte negativo asociado a Septiembre del 2004, registrando un aporte negativo de alrededor -27 ton/d en el tramo E2-E3 (valor similar al aporte positivo del tramo E1-E2, lo que amerita verificar el respectivo dato de concentración de Nitrógeno de la estación 2 con los registros en Laboratorio).

Los Sólidos Suspendidos inorgánicos muestran una tendencia de aportes de carga mayoritariamente negativos en el tramo E2-E3 (Fig. 68), con un promedio del período de ≈ -7.1 ton/d; similar es la tendencia del aporte de carga de los Sólidos Disueltos en el tramo E2-E3 (Fig. 69), resultando el promedio del período en una disminución del orden de las ≈ -121.6 ton/d. El aporte asociado al Hierro soluble registra una tendencia de aporte positivo en el tramo E2-E3, a excepción del aporte asociado a Julio 2004 (Fig. 70), con un incremento promedio del período de 16.31 kg/d, lo que en comparación de la magnitud del aporte promedio del tramo E1-E2, tiende a ser despreciable. Similar tendencia mostró el Zinc (Fig. 71), que registra en el tramo E2-E3 un aporte de 1.6 kg/d, que es despreciable frente al aporte de carga del tramo E1-E2.

El aporte de carga neta diaria del Sulfato en el tramo E2-E3 es negativo en todo el período (Fig. 72), con un promedio de alrededor -4.2 ton/d. Mientras que el aporte de carga de Clorato es negativo y asociado al mes de Abril del 2004, de alrededor -246 kg/d, lo que es muy inferior al aporte positivo del tramo E1-E2 de 1.6 ton/d. Para el Cloruro el aporte de carga neta promedio del período analizado es negativo, con -4.5 ton/d; mientras que el Sodio registró un aporte promedio positivo de 0.85 ton/d, despreciable al aporte de tramo anterior (aguas arriba). El aporte de carga neta promedio de los AOX es negativo y alrededor de -56.7 ton/d.

En Tabla 62 se presentan los aportes o diferencias netas de carga diaria en la columna de agua del río Cruces entre la estación 1 y estación 3, es decir, el aporte neto total que debe corresponder a la sumatoria de aportes de tramos parciales. Los aportes positivos de carga neta diaria promedio del período Abril del 2004 a Enero del 2005 en la columna de agua del río Cruces en el tramo E1-E3, entre Aguas Arriba Bocatoma e Ingreso Humedal, corresponden a las asociadas a la DBO_5 (promedio período ≈ 1.87

ton/d), a la DQO (promedio período \approx 10.6 ton/d), a los Sólidos Suspendidos inorgánicos (promedio período \approx 3.9 ton/d), a los Sólidos Disueltos (promedio período \approx 820 kg/d), al Hierro soluble (promedio período \approx 313 kg/d), Sulfato (promedio período \approx 34.9 ton/d), Clorato en evento de Abril 2004 (promedio diario \approx 1.4 ton/d), Cloruros (promedio período \approx 6.95 ton/d), Sodio (promedio período \approx 31 ton/d) y AOX (promedio período \approx 58.5 kg/d).

En resumen existen diferencias (aportes netos) de carga neta diaria asociadas a las características de la calidad de la columna de agua del río Cruces en el período Abril del 2004 a Enero del 2005 en el tramo E1-E2 (sector que incorpora la descarga del Ril CELCO): estos corresponden a incrementos en la **DBO₅, DQO, Nitrógeno total, Sólidos Suspendidos inorgánicos, Sólidos Disueltos, Hierro soluble, Zinc, Sulfato, Clorato, Cloruro, Sodio y AOX**. En el tramo siguiente (i.e. tramo E2-E3), se registran aportes positivos de carga en la DQO, Hierro soluble, Zinc y Sodio, aunque con tasas de incremento muy inferiores a las registradas en el tramo E1-E2. En el tramo E1-E3, aporte total de carga neta diaria entre Aguas Arriba Bocatoma y el Ingreso Humedal, se tienen aportes positivos en la columna de agua de **DBO₅, DQO, Sólidos Suspendidos inorgánicos, Sólidos Disueltos, Hierro soluble, Zinc, Sulfato, Cloruro, Sodio y AOX y Cloratos (estos últimos en Abril del 2004)**, sin descartarse la ocurrencia de otros eventos durante el período analizado, dada la alta variabilidad de las concentraciones registradas en los Muestreos.

De acuerdo a los antecedentes de carga neta diaria del Ril del Efluente CELCO, se puede estimar que la carga asociada al Ril (media del período Abril a Diciembre del 2004), participa o incide sobre el aporte de carga neta diaria promedio registrado en el tramo E1-E3 del río Cruces, en los siguientes porcentajes: **66.5% DBO₅; 59.6 % DQO; 79.6% Sólidos Suspendidos; 1.7% Hierro soluble**, mientras que para **Clorato y AOX, se estima que el total del aporte de la carga neta diaria promedio del período analizado coincidiría con la carga neta diaria promedio del período analizado asociada directamente al Efluente CELCO**.

A fin de evaluar eventuales cambios en las características fisicoquímicas de la columna de agua se realizaron comparaciones entre los muestreos de Abril del 2004 a Enero del 2005 con los muestreos de la línea de base (datos 1995-1996) y monitoreos de la etapa de construcción (datos de Septiembre del 2003 y Marzo y Septiembre del 2004). Además, se realizaron análisis de escalamiento multidimensional similares a los realizados en la comparación entre la línea de base histórica y el muestreo de Enero del 2005 (ver Capítulo 6.3.2.1). Los resultados de estos análisis se resumen a continuación.

En la Figura 74 se presentan los promedios de los datos históricos (i.e. 1995-1996 y 2002-2003) y los datos correspondientes a la situación actual (Abril del 2004 a Enero del 2005) de la temperatura, pH y conductividad del agua. La temperatura del agua durante el período 2004-2005 en las tres estaciones analizadas presentó promedios menores a la de los datos históricos (Fig. 74). Sin embargo, ninguna de esas diferencias fueron estadísticamente significativas ($P > 0.05$). La temperatura del agua durante el período 2004-2005 fue de 11.43, 11.71 y 11.85° C en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente, los promedios históricos para esta variable fueron de 13.85, 14.12 y 14.28° C en las estaciones 1, 2 y 3. El pH tampoco presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ambos períodos para las tres estaciones analizadas. En las aguas de la estación 1 esta variable presentó valores de 6.80 (datos históricos) y 7.12 (período 2004-2005), en la estación 2 fue de 6.74 (datos históricos) y 7.86 (período 2004-2005) y en la estación 3 fue de 6.72 (datos históricos) y 7.08 (período 2004-2005) (Fig. 74).

La conductividad del agua en la estación 1 no difirió significativamente ($P > 0.05$) entre los datos históricos y los del período 2004-2005, con valores de 36.20 y 42.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente. En las estaciones 2 y 3, la conductividad del agua fue significativamente mayor ($P < 0.05$) durante el período 2004-2005, presentando valores promedios en la estación 2 de 40.28 y 84.73 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (históricos y 2004-2005, respectivamente) y en la estación 3 de 42.12 y 64.24 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (históricos y 2004-2005, respectivamente) (Fig. 74). Los valores promedios históricos fueron alrededor de 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las tres estaciones, magnitud que se mantiene en la estación 1 para la etapa

de operación, pero si se registró un incremento en la estación 2 y 3, después de la descarga del Efluente CELCO.

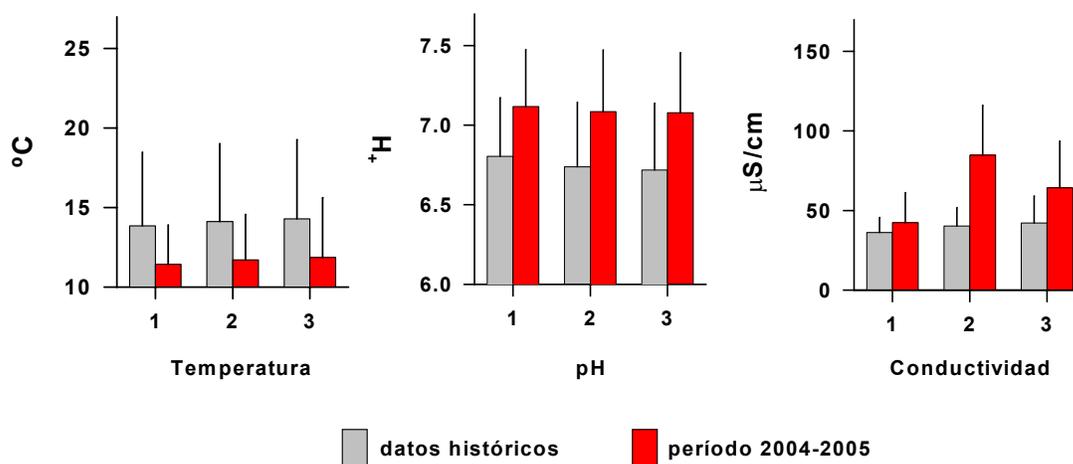


Figura 74. Valores de promedios históricos y actuales (2004-2005) de la temperatura, pH y conductividad en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces.

Las concentraciones promedios de Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las aguas de las tres estaciones de muestreo durante los dos períodos analizados se presentan en la Figura 75. La concentración de Oxígeno Disuelto en las tres estaciones analizadas fue significativamente menor durante el período 2004-2005 con respecto a las encontradas durante la línea de base y etapa de construcción (i.e. datos históricos). Los valores promedios históricos de esta variable en las estaciones 1, 2 y 3 fueron de 10.06, 10.05 y 9.74 mg/L, respectivamente, mientras que durante el período 2004-2005, estas concentraciones fueron de 8.52, 8.27 y 7.99 mg/L, en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente (Fig. 75). La DBO_5 en las aguas de la estación 1, aguas arriba, no presentó diferencias significativas entre ambos períodos, con valores de 1.32 y 2.77 mg/L, datos históricos y del período 2004-2005, respectivamente (Fig. 75). En las estaciones 2 y 3, la DBO_5 fue significativamente mayor ($P < 0.05$) durante el período 2004-2005, presentando valores promedios en la estación 2 de 1.17 a 4.35 mg/L y en la estación 3 de 1.17 y 3.42 mg/L, datos históricos y actuales, respectivamente (Fig. 75). La DQO en las tres estaciones estudiadas presentó valores significativamente más altos durante el período 2004-2005, con valores promedios históricos de 4.46, 4.43 y 4.53

mg/L en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente, mientras que en el período 2004-2005 esas concentraciones fueron de 19.18, 20.38 y 20.02 mg/L, respectivamente (Fig. 75). En este parámetro se observan cambios significativos en la calidad del agua del río Cruces, de valores históricos de alrededor de 5 mg/L DQO a concentraciones actuales de alrededor de 20 mg/L DQO, lo que podría deberse a descargas asociadas a otras actividades aguas arriba de la estación 1, como por ejemplo, lavado de áridos.

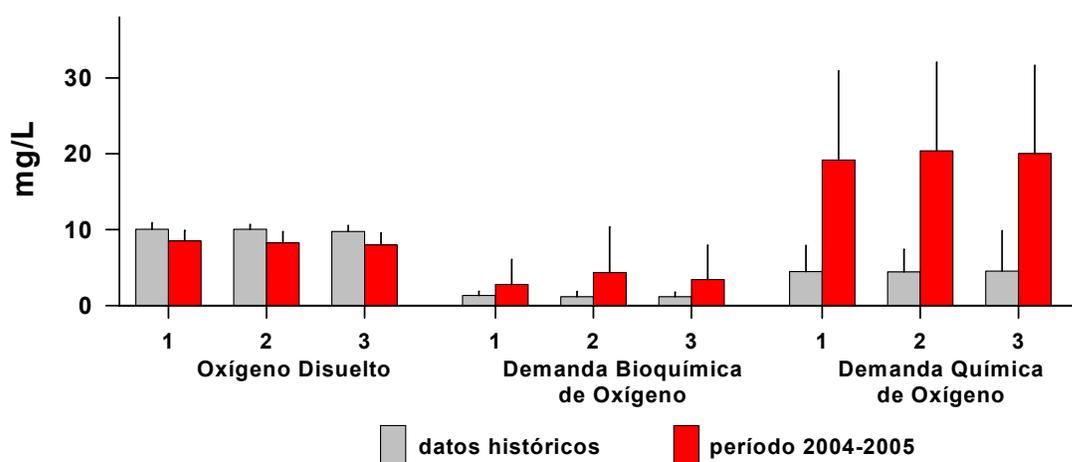


Figura 75. Valores de promedios históricos y actuales (período 2004-2005) de las concentraciones de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces..

Las concentraciones históricas y actuales (período 2004-2005) de Nitrógeno Kjeldahl, Nitrato, Amonio y Fósforo total se presentan en la Figura 76. En general, las concentraciones de Nitrógeno fueron significativamente mayores ($P < 0.05$) durante el período 2004-2005, en la estación 1 las concentraciones fueron de 0.12 y 0.38 mg/L (históricos y actuales, respectivamente), mientras que en la estación 3 esos valores fueron de 0.14 y 0.44 mg/L (históricos y actuales, respectivamente). Caso aparte fueron las concentraciones de Nitrógeno Kjeldahl en la estación 2, esto debido a que durante el período 2004-2005 el promedio fue de 3.56 mg/L, sin embargo esta alta concentración se debe al alto valor registrado en el muestreo de Septiembre del 2004 (i.e. 32.00 mg/L) que como se ha mencionado puede deberse a un error en la estimación o a una descarga puntual. En este caso no fue posible realizar el análisis de

varianza correspondiente debido a que no fue posible homogeneizar las varianzas de ambos grupos. Las concentraciones de Nitrato en las tres estaciones analizadas fueron significativamente menores ($P < 0.05$) durante el período 2004-2005. Esta variable presentó promedios históricos de 0.33, 0.36 y 0.33 mg/L en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente, mientras que en el período 2004-2005 esas concentraciones fueron de 0.11, 0.12 y 0.11 mg/L, respectivamente (Fig. 76). La concentración de Amonio en las aguas de la estación 1 presentó promedios significativamente mayores ($P < 0.05$) durante el período 2004-2005, con valores de 0.015 mg/L (datos históricos) y 0.037 mg/L (período 2004-2005). En las aguas de las estaciones 2 y 3, la concentración de Amonio no registró diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ambos períodos analizados, los datos históricos presentaron promedios de 0.015 mg/L en la estación 2 y de 0.041 mg/L en la estación 3, mientras que para el período 2004-2005 esos promedio fueron de 0.035 y 0.042 mg/L en las estaciones 2 y 3 respectivamente (Fig. 76). La concentración de Fósforo total en las aguas de las tres estaciones de muestreo fue significativamente mayor ($P < 0.05$) durante el período 2004-2005. Esta variable presentó valores históricos promedios de 0.018, 0.012 y 0.019 en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente, durante el período 2004-2005 esas concentraciones fueron de 0.028, 0.033 y 0.033 mg/L, respectivamente (Fig. 76).

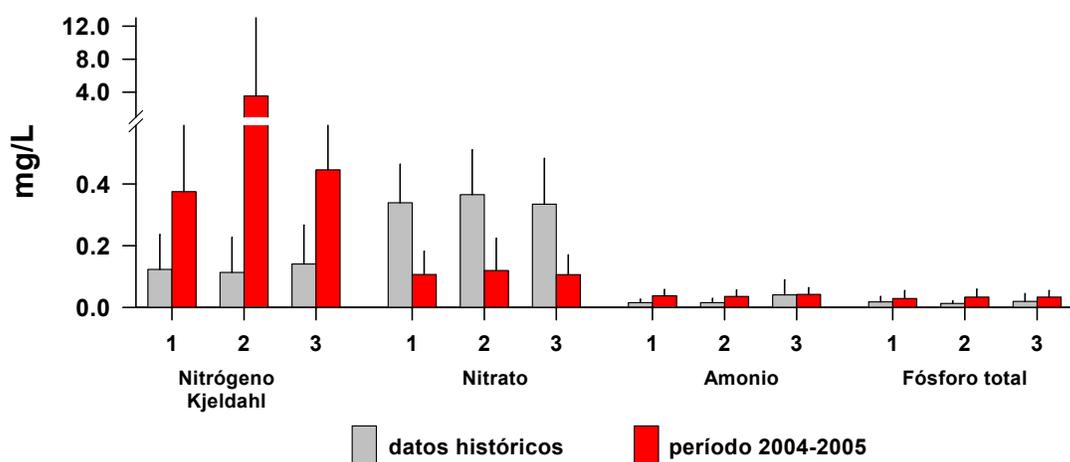


Figura 76. Valores promedios históricos y actuales (período 2004-2005) de las concentraciones de Nitrógeno Kjeldahl, Nitrato, Amonio y Fósforo total en las aguas de las tres estaciones analizadas.

En la Figura 77 se presentan los valores promedios históricos y actuales (i.e. período 2004-2005) de la concentración de Hierro soluble, Manganeso, Zinc y Cobre en las aguas de las tres estaciones de muestreo. En general, en las aguas de las tres estaciones analizadas las concentraciones promedios de Hierro soluble y Manganeso no registraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los datos históricos y aquellos correspondientes al período 2004-2005. Los datos históricos presentaron concentraciones promedios de Hierro soluble de 0.210, 0.198 y 0.647 mg/L, en las aguas de las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente, mientras que en el período 2004-2005 esas concentraciones fueron de 0.125, 0.208 y 0.228 mg/L, respectivamente (Fig. 77). Las concentraciones históricas de Manganeso fueron de 0.020, 0.016 y 0.023 mg/L, mientras que en el período 2004-2005 fueron de 0.021, 0.017 y 0.030 mg/L, en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente (Fig. 77). Las concentraciones de Zinc en las aguas de la estación 1 fueron significativamente mayores ($P < 0.05$) en el período 2004-2005, con valores de 0.002 (datos históricos) y 0.017 mg/L (período 2004-2005). En las aguas de las estaciones 2 y 3, no se registraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ambos grupos analizados. La concentración de Cobre en las aguas de las tres estaciones analizadas fue significativamente mayor durante el período 2004-2005, con valores promedios históricos de 0.005, 0.005 y 0.008 mg/L en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente; durante el período 2004-2005 esas concentraciones fueron de 0.019, 0.018 y 0.020, en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente (Fig. 77).

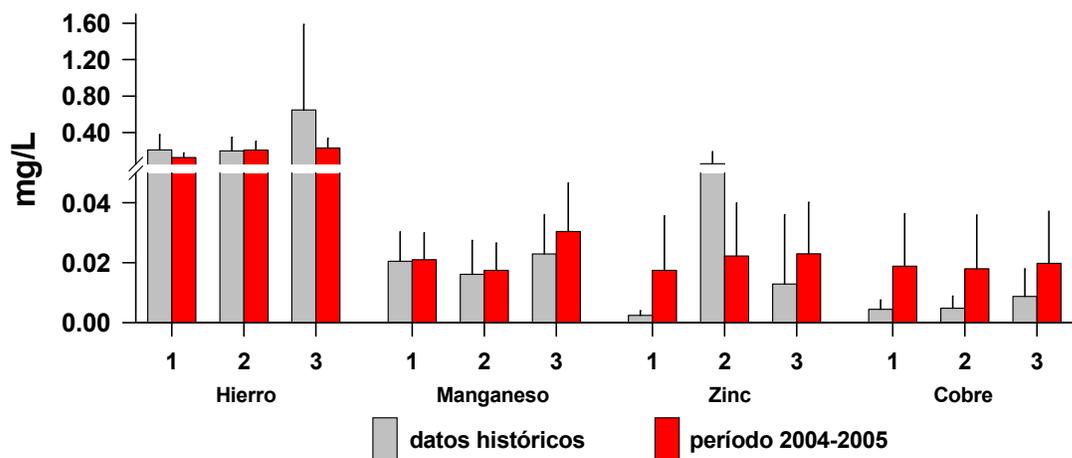


Figura 77. Valores de promedios históricos y actuales (período 2004-2005) de las concentraciones de Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces..

Las concentraciones históricas y actuales de Sólidos Suspendedos (totales, orgánicos e inorgánicos) y Sólidos Disueltos totales en las aguas de las tres estaciones estudiadas se presentan en la Figura 78. La concentración de Sólidos Suspendedos totales en las aguas de las tres estaciones estudiadas, no registró diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los datos históricos y actuales. La fracción orgánica de esos sólidos, fue significativamente menor en los muestreos del período 2004-2005, con promedios históricos de 2.31, 2.37 y 2.37 y 2.41 mg/L en las estaciones 1, 2 y 3, en contraste durante el período 2004-2005 esas concentraciones fueron de 0.38, 0.34 y 0.61 mg/L, respectivamente (Fig. 78). A su vez, la fracción inorgánica de los Sólidos Suspendedos en las aguas de las estaciones 2 y 3 fue significativamente mayor durante el período 2004-2005, mientras que en las aguas de la estación 1 no se observaron diferencias significativas entre ambos períodos. Esta variable presentó promedios históricos de 3.17, 3.35 y 2.93 mg/L, en las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente; mientras que en el período 2004-2005 esas concentraciones fueron de 4.74, 7.32 y 6.19 mg/L, respectivamente (Fig. 78). La concentración de Sólidos Disueltos totales en las aguas de la estación 1 no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ambos períodos, con promedios de 42.87 y 77.1 mg/L (datos históricos y período 2004-2005, respectivamente). En las aguas de las estaciones 2 y 3, la concentración de Sólidos

Disueltos fue significativamente mayor durante el período 2004-2005. Esta variable presentó valores promedios históricos de 38.70 mg/L en la estación 2 y de 37.47 mg/L en la estación 3. En contraste, durante el período de operación, 2004-2005, esas concentraciones fueron de 103.3 y 87.7 mg/L, estaciones 2 y 3 respectivamente (Fig. 78).

Otros parámetros que registraron diferencias son el Sulfato y Clorato. Para el Sulfato el promedio histórico en la estación 2 fue de 0.8 mg/L y durante la operación, 2004-2005, la concentración fue de 8.83 mg/L; mientras que el Clorato registra históricamente concentraciones de < 0.08 mg/L en las estaciones 1, 2 y 3, y para el período 2004-2005 registró valores de <0.08, 0.14 y 0.13 mg/L, respectivamente.

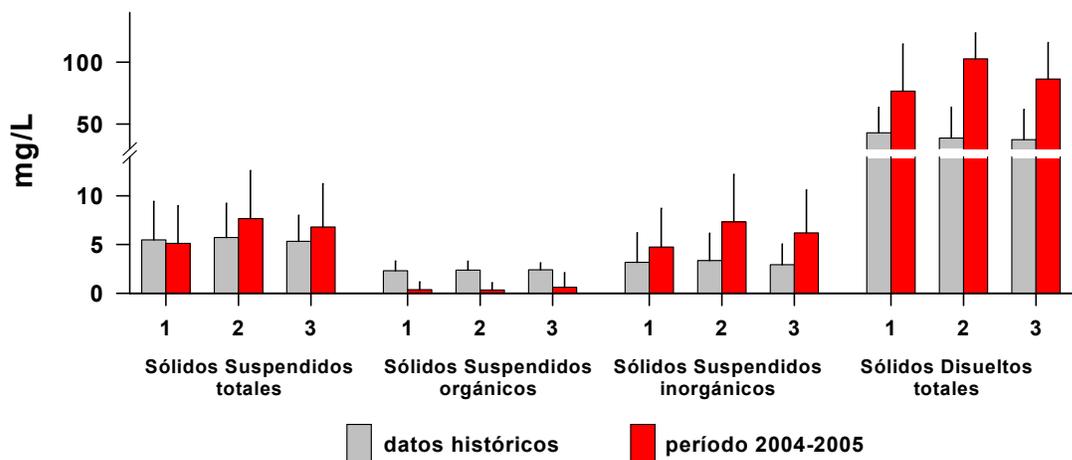


Figura 78. Valores de promedios históricos y actuales (período 2004-2005) de las concentraciones de Sólidos Suspendedos (totales, orgánicos e inorgánicos) y Sólidos Disueltos totales en las aguas de las tres estaciones analizadas en el río Cruces..

En la Figura 79, 80 y 81 se presentan los resultados de los análisis de escalamiento multidimensional realizados para las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente. Como fue mencionado en el Capítulo 6.3.2.1 y debido a la ausencia de datos para algunas variables en alguno de los muestreos analizados, los análisis de escalamiento multidimensional se realizaron de tres diferentes formas; i) eliminación de las variables sin datos, ii) eliminación del muestreo y iii) reemplazo del dato faltante por el promedio histórico de dicha variable.

En general, independiente de la estrategia de análisis utilizada, se observa que los muestreos del período 2004-2005 (puntos rojos) tienden a separarse del resto de los datos (i.e. datos históricos, puntos grises y verdes). La menor separación de estos puntos (i.e. puntos rojos) se observa cuando el análisis se realiza eliminando las variables que presentan datos faltantes. Esto ya que algunas de las variables eliminadas del análisis son las que presentaron las mayores diferencias entre los grupos de datos analizados (e.g. conductividad y Sólidos Disueltos, entre otros). Sin embargo, la tendencia presente en los tres análisis se mantiene. En general, las mayores separaciones entre datos históricos y actuales se observó en la estación 2 (Fig. 80c), donde sólo un muestreo del período 2004-2005 (i.e. muestreo de Julio del 2004) aparece cercano a los puntos correspondientes a los muestreos históricos.

Estos resultados sugieren que en general todas las estaciones presentan cambios significativos en la matriz de variables analizadas, siendo estos cambios mayores en las estaciones 2 y 3.

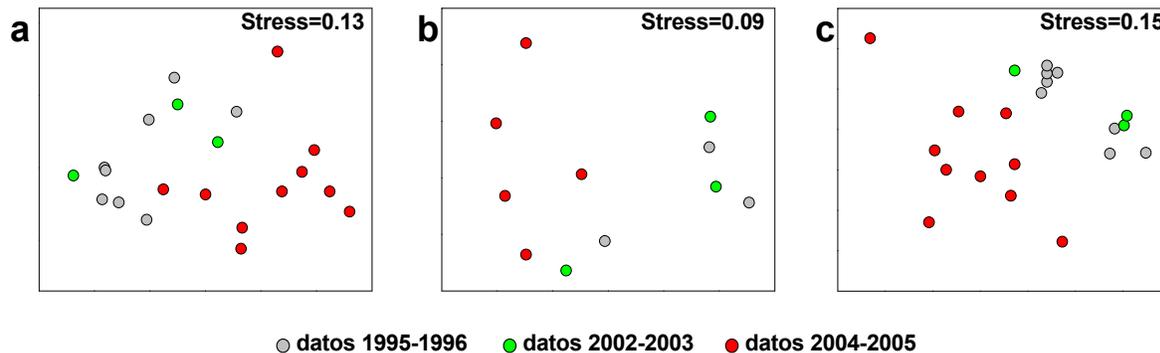


Figura 79. Resultados de los análisis de escalamiento multidimensional en base a las características fisicoquímicas de la columna en la estación 1. a = análisis realizado eliminando variables que presentan datos faltantes, b = análisis realizado eliminando muestreos que presentan datos faltantes y c = análisis realizado reemplazando datos faltantes por el promedio histórico.

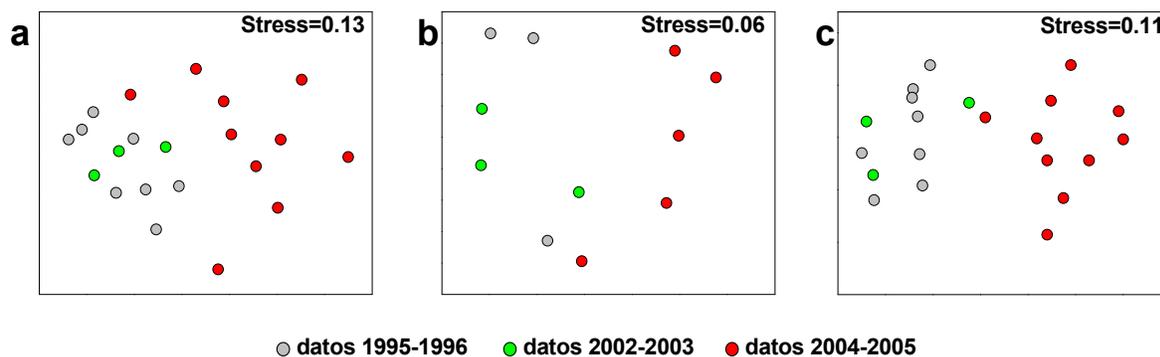


Figura 80. Resultados de los análisis de escalamiento multidimensional en base a las características fisicoquímicas de la columna en la estación 2. a = análisis realizado eliminando variables que presentan datos faltantes, b = análisis realizado eliminando muestreos que presentan datos faltantes y c = análisis realizado reemplazando datos faltantes por el promedio histórico.

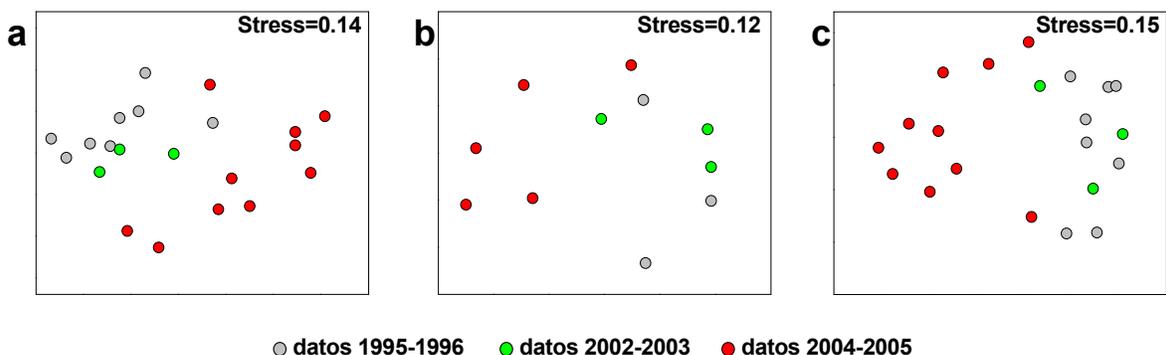


Figura 81. Resultados de los análisis de escalamiento multidimensional en base a las características fisicoquímicas de la columna en la estación 3. a = análisis realizado eliminando variables que presentan datos faltantes, b = análisis realizado eliminando muestreos que presentan datos faltantes y c = análisis realizado reemplazando datos faltantes por el promedio histórico.

6.5 Conclusiones

- i) Se concluye que existen diferencias (aportes netos) en las características de la calidad de agua del río Cruces en el período Abril 2004 a Enero 2005 en el tramo E1-E2, sector que incorpora la descarga del Ril CELCO, correspondientes a diferencias en conductividad (de 42.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 84.73 $\mu\text{S}/\text{cm}$); concentración de oxígeno (de 8.52 mg/L a 8.27 mg/L), DBO_5 (de 2.77 mg/L a 4.35 mg/L), DQO (de 19.18 mg/L a 20.38 mg/L), Nitrógeno total (de 0.38 mg/L a 3.56 mg/L), Sólidos Suspendidos inorgánicos (de 4.74 mg/L a 7.32 mg/L), Sólidos Disueltos (de 82.21 mg/L a 110.96 mg/L), Aluminio (de 0.19 mg/L a 0.27 mg/L), Hierro soluble (de 0.13 mg/L a 0.21 mg/L), Sulfato (de <0.5 mg/L a 8.83 mg/L), Clorato (de <0.08 mg/L a 0.14 mg/L), Cloruros (de 6.7 mg/L a 8.1 mg/L), Sodio (de 3.49 mg/L a 7.88 mg/L) y AOX (de 2.83 $\mu\text{g}/\text{L}$ a 30.33 $\mu\text{g}/\text{L}$).
- ii) En el tramo siguiente, E2-E3, se observa una disminución en la mayoría de los parámetros que sufrieron incrementos en el tramo E1-E2, pero no se logran restablecer las calidades de la estación 1, aguas arriba. Sólo se observaron incrementos para el Hierro soluble, la DQO y el Sodio; los

incrementos asociados al Hierro soluble y al Sodio son despreciables respecto al tramo anterior y sólo el incremento de la DQO es significativamente mayor que en el tramo anterior.

- iii) Por lo tanto, existe un aumento en el aporte de concentraciones en el tramo E1-E2 mayores a las diferencias de aportes registrados en el tramo E2-E3, a excepción de la DQO, lo que sugiere la existencia de una carga externa antrópica que ingresa puntualmente en este tramo (E1-E2), la que también incide en la modificación de las características de la calidad del agua en el tramo E2-E3 (es decir, aguas que ingresan al Humedal).
- iv) Al analizar las cargas netas promedio del período Abril a Diciembre 2004 también se observó que existen incrementos en los aportes netos en los respectivos tramos, y que a excepción de la DQO, se producen en el tramo E1-E2, sector donde descarga el Efluente CELCO.
- v) En el tramo E1-E3, aporte total de carga neta diaria promedio del período analizado entre Aguas Arriba Bocatoma y el Ingreso del Humedal, se tienen aportes positivos en la columna de agua de DBO₅ (1579.93 kg/d), DQO (12 422.86 kg/d), Sólidos Suspendidos inorgánicos (3 774.19 kg/d), Hierro soluble (305.49 kg/d), Sulfato (34 867.6 kg/d), Clorato (149.49 kg/d), Cloruros (37 700.9 kg/d), Sodio (30 972.73 kg/d) y AOX (58.4 kg/ d).
- vi) Los cálculos estarían indicando que el Efluente CELCO podría tener una incidencia estimada del orden del 60% en el aporte de carga de la DBO₅ y la DQO; de alrededor el 80% en el aporte de Sólidos Suspendidos; de sólo el 1.7% en el aporte de Hierro soluble e incidir mayoritariamente en los aportes de Clorato y AOX registrados en las aguas del río Cruces en el tramo E1-E3.
- vii) Respecto a la incidencia o participación de otros parámetros (i.e., Sólidos Disueltos, Sólidos Suspendidos inorgánicos, Manganeso, Aluminio, Sulfato,

Cloruro, Sodio, entre otros), no fue posible calcularlos debido a que no se consideran en la caracterización del Ril.

- viii) Comparaciones entre datos históricos y la etapa de operación de la Planta de CELCO indican que existen diferencias significativas en la calidad del agua del río Cruces. Las diferencias más importantes afectaron a variables como Sólidos Suspendidos inorgánicos, Sólidos Disueltos, DBO₅, DQO, Cobre, Sulfato, Clorato, Cloruros, Sodio y AOX.

Referencias

CARR MR (1997). Primer user manual. Plymouth Marine Laboratory, Prospect Place, Plymouth PL1 3 DH, United Kingdom 40 pp.

RIVAS B B QUILODRÁN & E QUIROZ. (2003). Removal Properties of Crosslinked Poly (2-acrylamido Glycolic Acid) for Trace Heavy Metal Ions. Effect of pH, temperature, contact time, salinity on the adsorption behaviour. Journal Applied of Polymer Science 88: 2614-2621.

RIVAS B B QUILODRÁN & E QUIROZ. (2004). Trace Metal Ion Retention Properties of Crosslinked Poly(4-Vinylpyridine) and Poly (Acrylic Acid). Journal Applied of Polymer Science 92: 2908-2916.

SOKAL, R. & F. ROHLF (1995). Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. W.H. Freeman, New York 877 pp.

U.S. EPA 8270C (1996). Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS). U.S. EPA SW-846 On Line. Test Methods for Evaluating Solid Wastes. Physical/Chemical Methods.

U.S. EPA 3650B (1996). Acid-Base Partition Cleanup. U.S. EPA SW-846 On Line. Test Methods for Evaluating Solid Wastes. Physical/Chemical Methods.

U.S. EPA 3510C (1996). Separatory Funnel Liquid-Liquid Extraction U.S. EPA SW-846 On Line. Test Methods for Evaluating Solid Wastes. Physical/Chemical Methods.

7. Coloración de las aguas del río Cruces y humedales adyacentes

7.1. Antecedentes

La presencia de aguas de color marrón, ha sido una de las características visibles más obvias en el Santuario y cauces tributarios desde fines del invierno del 2004 al presente (Fotografía 5). En varias ocasiones, la pluma de dispersión de esas aguas ha llegado, hasta el canal mareal Cau-Cau y estuarios de los ríos Calle-Calle y Valdivia (Fotografía 6). Con el objetivo de conocer las características de esas aguas, se realizaron estudios físico-químicos y fitoplanctónicos en las mismas y se las comparó con aguas libres de ese color, ocurrentes en humedales adyacentes a Valdivia.



Fotografía 5. Sector medio del Santuario con aguas color marrón.



Fotografía 6. Vistas de las aguas color marrón del río Cruces en su dispersión por los estuarios de los ríos Calle-Calle (vistas superiores) y Valdivia (vistas inferiores).

7.2. Metodologías para la obtención de las muestras

Se muestreó en cinco estaciones: tres ubicadas en el río Cruces (sectores Fuerte San Luis, Santa María y Cabo Blanco), una en el canal mareal Cau-Cau y otra en el estuario del río Calle-Calle (Fig. 82). Las coordenadas de esas estaciones se muestran en la Tabla 63.

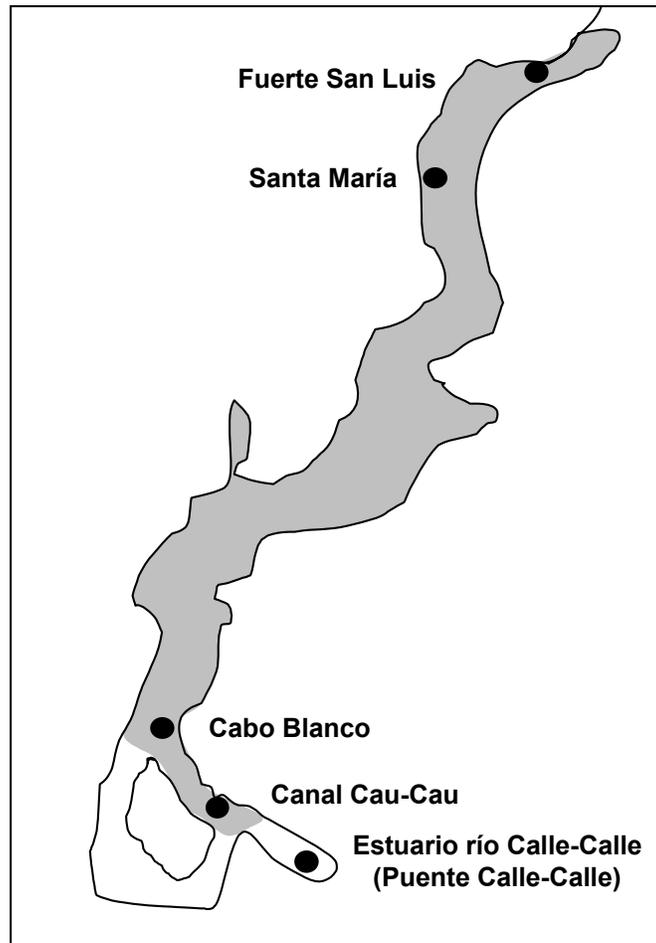


Figura 82. Ubicación aproximada de las estaciones de muestreo en el río Cruces (sectores Fuerte San Luis, Santa María y Cabo Blanco), canal mareal Cau-Cau y estuario del río Calle-Calle. El color gris señala la extensión aproximada de las aguas color marrón durante la mayor parte de este estudio.

Tabla 63. Coordenadas en sistema sexagesimal y UTM de las estaciones donde se recolectaron muestras para el estudio de coloración de las aguas del río Cruces (grilla de referencia de conversión en UTM: 184 x b4533604584).

Estaciones	Sexagesimal		UTM	
Fuerte San Luis (Santuario)	39°36'73.7''S	073°09'54.9''W	692257 E	5611894 N
Santa Maria (Santuario)	39°39'81.1''S	073°10'85.0''W	678385 E	5606446 N
Cabo Blanco (Santuario)	39°46'65.5''S	073°15'35.6''W	649011E	5594597 N
Canal mareal Cau-Cau	39°48'35.7''S	073°14'68.7''W	649597E	5591804 N
Estuario río Calle-Calle	39°49'13.8''S	073°13'96,1''W	673460N	5590125N

Durante todo el período de estudio, las tres estaciones del Cruces estuvieron afectadas por las aguas de color marrón. Durante algunos muestreos, y dependiendo de las mareas, aguas de color marrón también ocurrieron en la estación ubicada en el canal mareal Cau-Cau, a la vez que esas aguas nunca alcanzaron hasta la estación ubicada en el estuario del río Calle-Calle.

Ya que durante un muestreo preliminar (27 de Diciembre del 2004), se constató que no habían diferencias en la temperatura, conductividad, pH y contenido de oxígeno disuelto entre aguas superficiales y de fondo (ca. 50 cm sobre el fondo) (Tabla 64), se optó por obtener muestras solo de la superficie (i.e. aproximadamente 10 cm bajo la interfase aire-agua) y así disminuir los tiempos de muestreo y transporte entre estaciones. Esto último no es trivial, ya que debido a que el área de estudio tiene influencia mareal, fue necesario realizar los muestreos dentro de la misma fase mareal (e.g. marea subiendo o marea bajando).

Tabla 64. Temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto en aguas superficiales y de fondo de las estaciones de muestreo (27 de Diciembre del 2004).

Sitio de muestreo	°C		Conductividad (µS/cm)		Oxígeno disuelto (mg/L).		pH	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
Fuerte San Luis (Santuario)	19.7	20.6	145	149	11.7	10.3	7.2	7.4
Santa Maria (Santuario)	22.7	20.5	105	107	12.0	9.0	7.4	7.2
Cabo Blanco (Santuario)	21.2	21.4	282	257	17.4	9.4	7.4	7.5
Canal Mareal Cau - Cau	22.0	21.9	116	124	9.0	8.6	7.4	7.4
Estuario Río Calle-Calle	19.4	19.6	45	45	11.7	9.0	7.5	7.5

La intensidad de los muestreos fue variable y dependió de la variable analizada (Tabla 65). Aquellas estudiadas con mayor intensidad fueron temperatura, conductividad, pH, sólidos suspendidos y disueltos, seguidas de los nutrientes, fitoplancton y metales pesados, respectivamente.

Tabla 65. Fechas en las cuales se realizaron muestreos de aguas en el río Cruces, canal mareal Cau-Cau y estuario del río Calle-Calle, para caracterizar las aguas de color marrón presentes en el Santuario.

Fecha de Muestreo	Temperatura Conductividad pH	Oxígeno disuelto	Sólidos suspendidos y disueltos	Nutrientes	Metales Pesados	Fitoplancton		
29/12/04								
3/01/05								
5/01/05								
7/01/05								
9/01/05								
11/01/05								
13/01/05								
15/01/05								
30/01/05								
19/02/05								
10/03/05								
2/04/05								

Las muestras se obtuvieron con una botella horizontal de muestreo tipo Van Dorn (5 L) construída en PVC. La temperatura, conductividad, pH y contenido de oxígeno disuelto se midieron *in situ*. Las muestras para análisis de nutrientes, fitoplancton y metales pesados se conservaron en envases plásticos hasta los análisis de laboratorio. A los envases destinados a los análisis de fitoplancton (volumen=285 ml) se les adicionó 1 ml de solución de lugol yodada como fijador.

7.3. Metodologías para el análisis de las muestras

Los análisis se realizaron acorde metodologías mencionadas en el Capítulo 6. Los análisis de fitoplancton se realizaron en el Instituto de Botánica de la UACH, previo período de sedimentación de 48 horas y de acuerdo a metodología de transectos (Utermöl, 1958) con observación y registro cuantitativo de las, microalgas bajo microscopio fotónico tipo invertido Zeiss con aumento de 400x y en cámaras de recuento de 5 mL. La clasificación taxonómica fue apoyada por literatura relacionada a taxa fitoplanctónicas de aguas continentales de Chile (Parra *et al.*, 1982, Parra & Bicudo, 1998). En aquellas muestras que mostraron altas densidades, se procedió a realizar recuentos en tres campos oculares determinados al azar. Se estimaron las densidades totales y los aportes de cada grupo de microalgas presentes en cada fecha y sitio de muestreo, mediante transformaciones volumétricas, con proyección a 1000 ml (1 L), utilizándose un coeficiente de variación de 10% (Javornicky, 1958). Las microalgas fueron clasificadas según sus características en las correspondientes clases fitoplanctónicas.

7.4. Resultados

7.4.1. Características físico-químicas

Las Tablas 66 a 69 muestran la variabilidad temporal de las variables estudiadas, a la vez que en el ANEXO IV se muestra gráficamente la variabilidad temporal de las mismas. Los datos de las Tabla 66-69 se utilizaron para realizar dos tipos de

comparaciones para cada variable: la primera fue obtener el promedio total de los valores obtenidos para las tres estaciones del río Cruces (sectores Fuerte San Luis, Santa María y Cabo Blanco; siempre afectadas por aguas color marrón) y compararlo con el promedio total de los valores obtenidos para las dos estaciones ubicadas fuera del río Cruces (canal mareal Cau-Cau y estuario del río Calle-Calle); la segunda comparación fue promediar los valores obtenidos para las estaciones que durante los muestreos estuvieron afectadas por las aguas de color marrón (se incluyen entonces en este grupo, ocasiones en que las aguas color marrón llegaron hasta la estación ubicada en el canal mareal Cau-Cau) y comparar el promedio obtenido con el promedio total de los valores obtenidos para las aguas (estaciones) que nunca estuvieron afectadas por ese tipo de aguas (las del estuario del río Calle-Calle y del canal mareal Cau-Cau en la mayoría de los casos; cf. Figuras de ANEXO V).

Los valores promedio de la temperatura del agua no difirieron significativamente ($P>0.05$) en las comparaciones río Cruces vs. Cau-Cau & Calle-Calle (primera comparación, de aquí en adelante) y aguas color marrón vs. aguas sin ese color (segunda comparación, de aquí en adelante) (Fig. 83). Sin embargo, los valores de temperatura del agua fueron generalmente más altos en las aguas color marrón del río Cruces (ver Tabla 66). Los valores promedio de pH no difirieron significativamente ($P>0.05$) entre ambos tipos de aguas (Fig. 83), a la vez que la conductividad promedio del agua fue significativamente más alta ($P<0.05$) en las aguas color marrón, en ambos tipos de comparaciones (459.6 vs. 175.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 452.0 vs. 133.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la primera y segunda comparación, respectivamente).

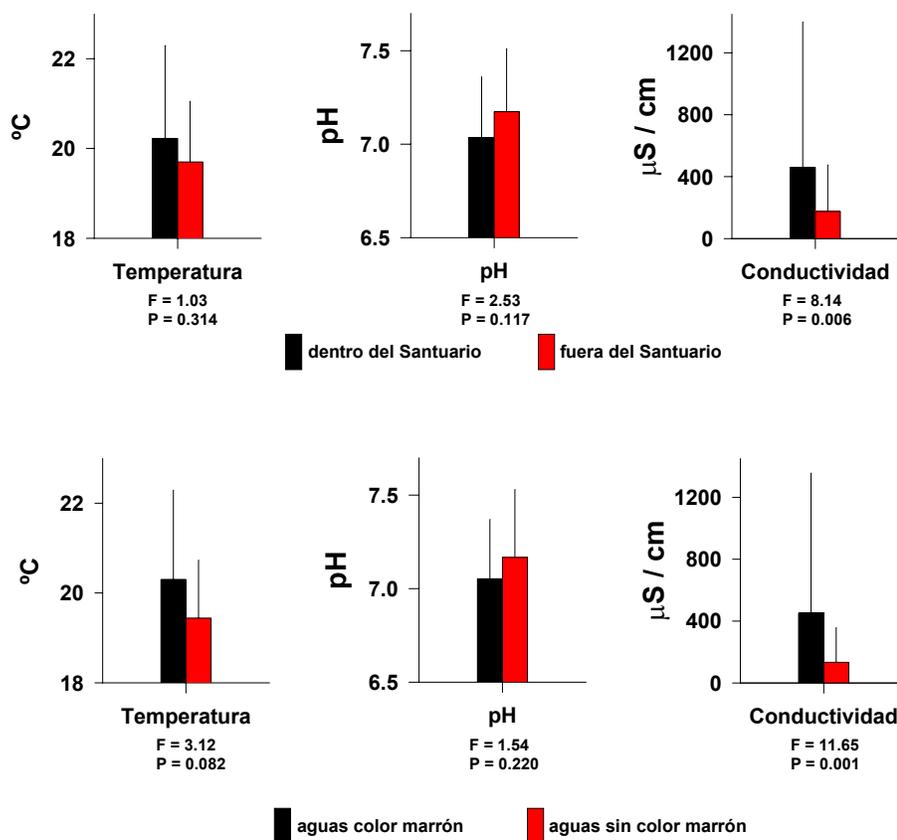


Figura 83. Valores promedio de temperatura, pH y conductividad en el agua en las dos comparaciones realizadas. Arriba: en negro=datos provenientes de estaciones ubicadas dentro del Santuario (Fuerte San Luis, Santa María y Cabo Blanco), en rojo=estaciones ubicadas fuera del Santuario (canal mareal Cau-Cau y estuario del río Calle-Calle); abajo: en negro=datos provenientes de estaciones afectadas por las aguas color marrón, en rojo=estaciones sin aguas de color marrón (ver texto).

En ambas comparaciones, las concentraciones promedio de Sólidos suspendidos fueron significativamente más altas en las aguas color marrón (Fig. 84). Los promedios de Sólidos suspendidos fueron 13.9 vs. 4.2 mg/L y 13.7 vs. 2.8 mg/L en la primera y segunda comparación. Si bien no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en las concentraciones promedio de sólidos disueltos durante la primera comparación, estas fueron más altas en las estaciones del río Cruces (337.9 mg/L) cuando comparadas con las ubicadas fuera del mismo (135.2 mg/L). En la segunda comparación, la concentración promedio de estos sólidos fue significativamente más alta en las aguas color marrón (325.9 vs. 118.8 mg/L, (Fig. 84).

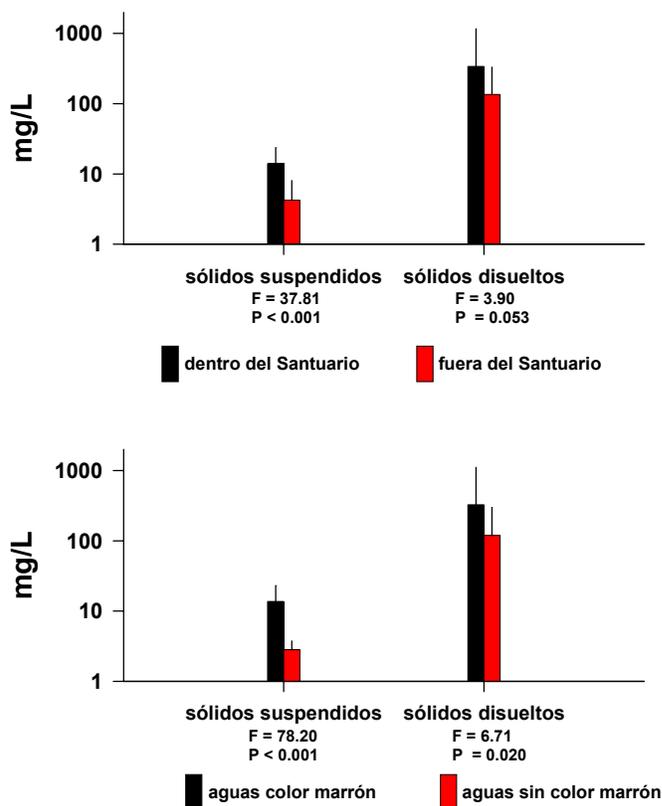


Figura 84. Valores promedio de Sólidos suspendidos y Sólidos disueltos en el agua en las dos comparaciones realizadas. Arriba: en negro=datos provenientes de estaciones ubicadas dentro del Santuario (Fuerte San Luis, Santa María y Cabo Blanco), en rojo=estaciones ubicadas fuera del Santuario (canal mareal Cau-Cau y estuario del río Calle-Calle); abajo: en negro=datos provenientes de estaciones afectadas por las aguas color marrón, en rojo=estaciones sin aguas de color marrón (ver texto).

Con excepción de Amonio, las concentraciones promedio de Nitrógeno Kjeldahl, Nitrato, Fósforo total y Fósforo soluble, fueron significativamente más altas ($P < 0.05$) en las aguas color marrón en la primera comparación. Las concentraciones promedio de Nitrógeno Kjeldahl, Nitrato, Fósforo total y Fósforo soluble, en las aguas del río Cruces fueron 0.134, 0.054, 0.042 y 0.010 mg/L, respectivamente, vs. 0.098, 0.015, 0.019 y 0.005 mg/L, en las aguas ubicadas fuera del río Cruces (Fig. 85).

Con excepción de Nitrógeno Kjeldahl y Amonio, las concentraciones promedio de Nitrato, Fósforo total y Fósforo soluble, fueron significativamente más altas ($P < 0.05$) en las aguas color marrón en la segunda comparación. Las concentraciones promedio de

Nitrato, Fósforo total y Fósforo soluble, en las aguas color marrón fueron 0.052, 0.041 y 0.010 mg/L, respectivamente, vs. 0.012, 0.016 y 0.004 mg/L, en las aguas ubicadas carentes de color marrón (Fig. 85).

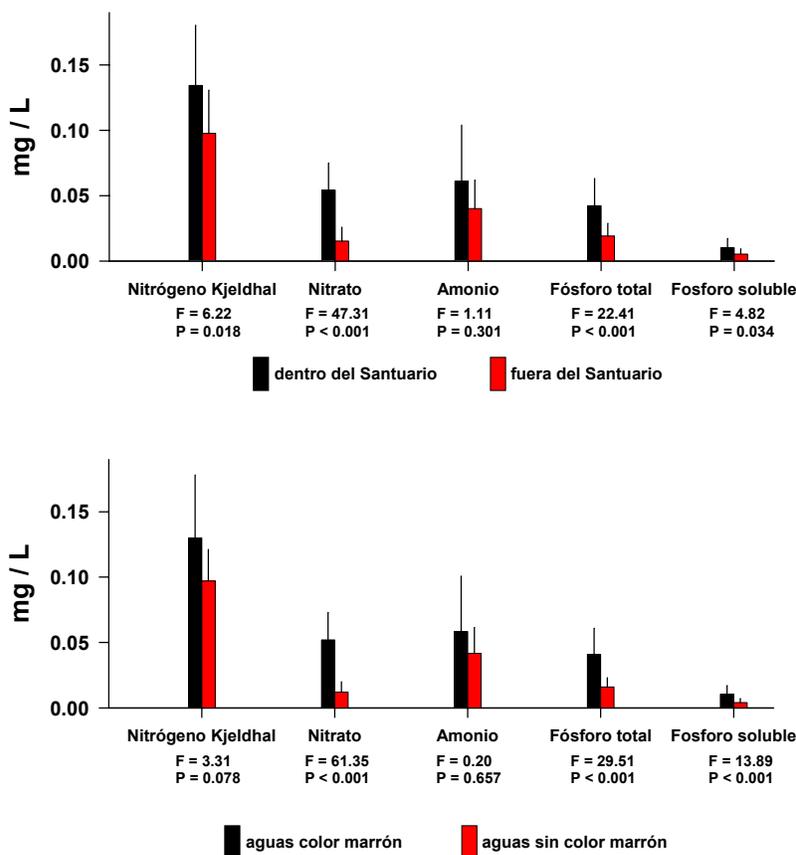


Figura 85. Valores promedio de Nitrógeno Kjeldhal, Nitrato, Amonio, Fósforo total y Fósforo soluble del agua en las dos comparaciones realizadas. Arriba: en negro=datos provenientes de estaciones ubicadas dentro del Santuario (Fuerte San Luis, Santa María y Cabo Blanco), en rojo=estaciones ubicadas fuera del Santuario (canal mareal Cau-Cau y estuario del río Calle-Calle); abajo: en negro=datos provenientes de estaciones afectadas por las aguas color marrón, en rojo=estaciones sin aguas de color marrón (ver texto).

Durante los muestreos del 29 de Diciembre del 2004 y del 15 de Enero del 2005, las concentraciones de los metales pesados más comunes (Hierro, Manganeso y Cobre), fueron en general más altas en las aguas del Santuario (sectores Fuerte San Luis, Santa María y Cabo Blanco), que en aquellas fuera del mismo (estación del canal mareal Cau-Cau y estuario del río Calle-Calle (Tabla 69). Esto fue más evidente en el

segundo muestreo, cuando las diferencias en las concentraciones de Hierro, Manganeso y Cobre fueron mayores (Tabla 69):

Tabla 66. Valores de temperatura (°C), pH y conductividad (μS/cm) en las aguas del Santuario y humedales adyacentes.

VARIABLES	Río Cruces Fuerte San Luis	Río Cruces Santa María	Río Cruces Cabo Blanco	Canal marea Cau-Cau	Estuario río Calle-Calle
Temperatura					
29 -Dic-2004	19.00	21.10	21.00	19.80	18.30
03-Ene-2005	20.00	22.60	22.30	21.10	20.10
05-Ene-2005	21.20	22.40	22.80	21.00	20.00
07-Ene-2005	20.00	21.30	21.70	20.00	19.60
09-Ene-2005	19.70	22.70	21.20	22.00	19.40
11-Ene-2005	20.00	21.60	21.60	19.90	19.80
13-Ene-2005	19.90	20.00	20.30	19.90	19.90
15-Ene-2005	20.20	21.20	20.90	19.30	20.20
30-Ene-2005	17.80	19.00	19.10	18.50	18.30
19-Feb-2005	22.20	22.20	22.60	21.90	22.00
10-Mar-2005	16.70	18.50	19.10	19.50	18.30
02-Abr-2005	14.90	15.50	15.90	17.00	17.00
pH					
29-Dic-2004	6.97	7.30	7.30	7.60	7.30
03-Ene-2005	6.85	6.88	6.91	7.15	7.29
05-Ene-2005	7.21	7.08	7.10	7.20	7.30
07-Ene-2005	7.26	7.26	6.82	7.04	7.38
09-Ene-2005	7.23	7.35	7.38	7.44	7.46
11-Ene-2005	7.05	6.87	6.76	7.06	7.26
13-Ene-2005	7.25	7.36	7.15	7.28	7.31
15-Ene-2005	7.00	6.60	6.69	6.91	6.58
30-Ene-2005	6.63	6.10	6.10	6.10	6.71
19-Feb-2005	7.20	7.35	6.84	7.22	7.20
10-Mar-2005	7.10	7.26	7.06	7.08	7.30
02-Abr-2005	7.50	7.40	7.10	7.30	7.70
Conductividad					
29-Dic-2004	105.00	110.00	161.00	54.00	45.00
03-Ene-2005	80.00	81.00	123.00	134.00	45.00
05-Ene-2005	113.00	78.00	118.00	78.00	46.00
07-Ene-2005	123.00	100.00	108.00	63.00	46.00
09-Ene-2005	145.00	105.00	282.00	116.00	45.00
11-Ene-2005	138.00	119.00	545.00	1204.00	95.00
13-Ene-2005	152.00	107.00	837.00	47.00	45.00
15-Ene-2005	156.00	137.00	1465.00	46.00	46.00
30-Ene-2005	51.00	86.00	1244.00	57.00	46.00
19-Feb-2005	64.00	81.00	4120.00	656.00	874.00
10-Mar-2005	167.00	316.00	3980.00	270.00	47.00
02-Abr-2005	140.00	125.00	685.00	50.00	55.00

Tabla 67. Concentración de Sólidos suspendidos y Disueltos en sus fracciones orgánica, inorgánica y total en las aguas del Santuario y humedales adyacentes. Los valores se expresan en mg/L.

	Sólidos suspendidos			Sólidos disueltos		
	orgánica	inorgánica	Total	orgánica	inorgánica	Total
Río Cruces-Fuerte San Luis						
29-Dic-04	1.80	3.20	5.00	18.00	70.00	88.00
03-Ene-05	1.40	2.60	4.00	12.00	34.00	46.00
05-Ene-05	1.60	3.90	5.50	4.00	90.00	94.00
07-Ene-05	1.40	3.10	4.50	24.00	88.00	112.00
09-Ene-05	1.60	0.50	2.10	12.00	82.00	94.00
11-Ene-05	1.80	3.70	5.50	40.00	68.00	108.00
13-Ene-05	2.00	2.90	4.90	32.00	20.00	52.00
15-Ene-05	2.10	5.00	7.10	66.00	18.00	84.00
30-Ene-05	1.50	2.40	3.90	18.00	36.00	54.00
19-Feb-05	1.60	2.40	4.00	22.00	42.00	64.00
10-Mar-2005	2.00	1.50	3.50	34.00	98.00	132.00
02-Abr-2005	1.40	2.00	3.40	69.28	205.96	275.2
Río Cruces-Santa María						
29-Dic-04	3.10	5.80	8.90	14.00	48.00	62.00
03-Ene-05	4.50	6.13	10.63	20.00	28.00	48.00
05-Ene-05	4.14	8.57	12.71	10.00	60.00	70.00
07-Ene-05	3.37	7.25	10.63	10.00	54.00	64.00
09-Ene-05	5.86	11.43	17.29	4.00	18.00	22.00
11-Ene-05	3.20	5.20	8.40	20.00	22.00	42.00
13-Ene-05	8.17	15.33	23.50	22.00	24.00	46.00
15-Ene-05	6.80	11.80	18.60	36.00	22.00	58.00
30-Ene-05	4.92	9.37	14.29	22.00	42.00	64.00
19-Feb-05	4.83	7.41	12.24	32.00	48.00	80.00
10-Mar-2005	16.50	8.50	25.00	36.00	126.00	162.00
02-Abr-2005	3.20	5.50	8.70	46.80	112.93	159.70
Río Cruces-Cabo Blanco						
29-Dic-04	4.38	9.13	13.50	44.00	60.00	104.00
03-Ene-05	6.37	17.50	23.88	12.00	8.00	20.00
05-Ene-05	5.57	11.57	17.14	18.00	50.00	68.00
07-Ene-05	5.00	11.13	16.13	8.00	76.00	84.00
09-Ene-05	8.71	23.57	32.29	16.00	62.00	78.00
11-Ene-05	5.62	9.75	15.38	62.00	184.00	246.00
13-Ene-05	9.14	22.57	31.71	52.00	242.00	294.00
15-Ene-05	6.80	19.00	25.80	88.00	664.00	752.00
30-Ene-05	10.20	23.60	33.80	162.00	566.00	728.00
19-Feb-05	13.00	18.80	31.80	182.00	4264.00	4446.00
10-Mar-2005	10.00	17.50	27.50	468.00	1984.00	2452.00
02-Abr-2005	3,70	5.00	8.70	69.28	205.96	275.20
Canal mareal Cau-Cau						
29-Dic-04	0.60	1.70	2.30	12.00	12.00	24.00
03-Ene-05	4.38	11.75	16.13	8.00	48.00	56.00
05-Ene-05	3.37	7.13	10.50	26.00	30.00	56.00
07-Ene-05	3.00	1.90	4.90	4.00	24.00	28.00
09-Ene-05	4.30	10.00	14.30	32.00	104.00	136.00
11-Ene-05	1.70	2.20	3.90	86.00	534.00	620.00
13-Ene-05	1.20	2.50	3.70	2.00	22.00	24.00
15-Ene-05	1.00	1.50	2.50	10.00	16.00	26.00
30-Ene-05	1.10	1.50	2.60	6.00	56.00	62.00
19-Feb-05	1.70	3.30	5.00	100.00	350.00	450.00
10-Mar-2005	1.90	1.70	3.60	110.00	478.00	588.00
02-Abr-2005	1.40	1.40	2.90	49.10	45.70	94.80

Continuación Tabla 67.

	Sólidos suspendidos			Sólidos disueltos		
	orgánica	inorgánica	Total	orgánica	inorgánica	Total
Estuario río Calle-Calle						
29-Dic-04	0.80	1.00	1.80	6.00	22.00	28.00
03-Ene-05	0.90	0.90	1.80	12.00	16.00	28.00
05-Ene-05	1.00	1.20	2.20	18.00	24.00	42.00
07-Ene-05	1.10	1.60	2.70	20.00	26.00	46.00
09-Ene-05	1.50	1.60	3.10	2.00	4.00	6.00
11-Ene-05	1.10	1.20	2.30	20.00	20.00	40.00
13-Ene-05	0.90	0.90	1.80	6.00	6.00	12.00
15-Ene-05	0.80	1.60	2.40	28.00	44.00	72.00
30-Ene-05	0.70	1.00	1.70	18.00	32.00	50.00
19-Feb-05	1.10	1.50	2.60	124.00	422.00	546.00
10-Mar-2005	1.50	1.30	2.80	34.00	54.00	88.00
02-Abr-2005	3.70	1.90	3.70	78.70	42.40	121.1

Tabla 68. Concentración de nutrientes, en las aguas del Santuario y humedales adyacentes. Las concentraciones se expresan en mg/L.

Variables	Río Cruces Fuerte San Luis	Río Cruces Santa María	Río Cruces Cabo Blanco	Canal Mareal Cau-Cau	Estuario río Calle-Calle
Nitrógeno Kjeldhal					
03-Ene-2005	0.150	0.170	0.200	0.170	0.080
05-Ene- 2005	0.160	0.220	0.140	0.210	0.090
07-Ene-2005	0.140	0.110	0.130	0.060	0.130
09-Ene- 2005	0.080	0.110	0.090	0.050	0.090
11-Ene-2005	0.060	0.110	0.110	0.080	0.080
13-Ene-2005	0.080	0.180	0.220	0.110	0.140
15-Ene-2005	0.080	0.130	0.150	0.090	0.100
Nitratos					
03-Ene-2005					
05-Ene- 2005	0.078	0.057	0.060	0.015	0.013
07-Ene-2005	0.075	0.083	0.025	0.031	0.007
09-Ene- 2005	0.077	0.067	0.032	0.022	0.005
11-Ene-2005	0.070	0.060	0.028	0.037	0.014
13-Ene-2005	0.058	0.027	0.031	0.008	0.006
15-Ene-2005	0.064	0.023	0.059	0.011	0.010
Amonio					
03-Ene-2005					
05-Ene- 2005	0.036	0.023	0.016	0.016	0.022
07-Ene-2005	0.019	0.082	0.042	0.042	0.048
09-Ene- 2005	0.047	0.075	0.095	0.061	0.043
11-Ene-2005	0.011	0.040	0.080	0.006	0.006
13-Ene-2005	0.006	0.097	0.106	0.038	0.043
15-Ene-2005	0.049	0.160	0.118	0.058	0.075
Fósforo total					
03-Ene-2005	0.020	0.030	0.050	0.030	0.010
05-Ene- 2005	0.020	0.030	0.050	0.040	0.020
07-Ene-2005	0.030	0.030	0.040	0.030	0.020
09-Ene- 2005	0.020	0.050	0.080	0.040	0.010
11-Ene-2005	0.020	0.040	0.050	0.020	0.020
13-Ene-2005	0.030	0.080	0.090	0.010	0.010
15-Ene-2005	0.030	0.060	0.040	0.010	0.020
Fósforo Soluble					
03-Ene-2005					
05-Ene- 2005	0.013	0.019	0.009	0.017	0.004
07-Ene-2005	0.006	0.011	0.009	0.004	0.004
09-Ene- 2005	0.006	0.020	0.030	0.013	0.012
11-Ene-2005	0.005	0.014	0.011	0.009	0.001
13-Ene-2005	0.002	0.008	0.007	0.004	0.004
15-Ene-2005	0.003	0.010	0.004	0.001	0.002

Tabla 69. Concentración de metales pesados en las aguas del Santuario y Humedales adyacentes. Las concentraciones de todas las variables se expresan en mg/L.

	San Luis	Santa Maria	Cabo Blanco	Canal Mareal Cau-Cau	Estuario Calle-Calle (ca. Puente Calle-Calle)
Fecha	29/12/04	29/12/04	29/12/04	29/12/04	29/12/04
Hierro	0.044	0.017	0.038	0.006	0.007
Manganeso	0.021	0.0035	0.0044	0.001	0.001
Cobre	0.014	0.0042	0.005	0.0025	0.003
Cromo	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002
Níquel	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002
Plomo	0.0071	0.002	0.002	0.002	0.002
Zinc	0.0001	0.006	0.0048	0.0019	0.0021
Cadmio	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Mercurio	< 0.0006	< 0.0006	< 0.0006	< 0.0006	< 0.0006
Fecha	15/01/05	15/01/05	15/01/05	15/01/05	15/01/05
Hierro	0.31	0.48	0.41	0.091	0.067
Manganeso	0.08	0.14	0.12	0.0095	0.0081
Cobre	0.027	0.01	0.011	0.034	0.01
Cromo	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002
Níquel	< 0.007	< 0.003	< 0.003	0.005	< 0.003
Plomo	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003
Cinc	0.012	0.014	0.0087	0.0082	0.0075
Cadmio	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002
Mercurio	< 0.0006	< 0.0006	< 0.0006	< 0.0006	< 0.0006

7.4.2. Fitoplancton

En general las abundancias totales más bajas del fitoplancton ocurrieron en el sector del Fuerte San Luis, con valores entre 5 913 000 y 14 652 176 cel/L (Fig. 86 y Tabla 70). Las abundancias más altas se presentaron en el sector de Cabo Blanco, con valores extremos de 149 523 000 y 252 857 000 cel/L (Fig. 86 y Tabla 70). La estación ubicada en el canal mareal Cau-Cau presentó una abundancia notoriamente alta (i.e. 291 000 000 cel/L) durante el muestreo del 3 de Enero del 2005 (Fig. 86 y Tabla 70). Interesa señalar que durante este muestreo, las aguas de esta estación estuvieron afectadas por las aguas de color marrón; en los muestreos restantes la abundancia fitoplanctónica en la misma varió entre 15 521 599 y 53 347 799 cel/L. Las aguas de la estación del sector Santa María también registraron abundancias relativamente altas, con valores que variaron entre 25 956 583 y 130 826 000 cel/L (Fig. 86 y Tabla 70). Las aguas de la estación del estuario del río Calle-Calle, registraron abundancias que variaron entre 4 362 413 y 22 652 217 cel/L (Fig. 84 y Tabla 68).

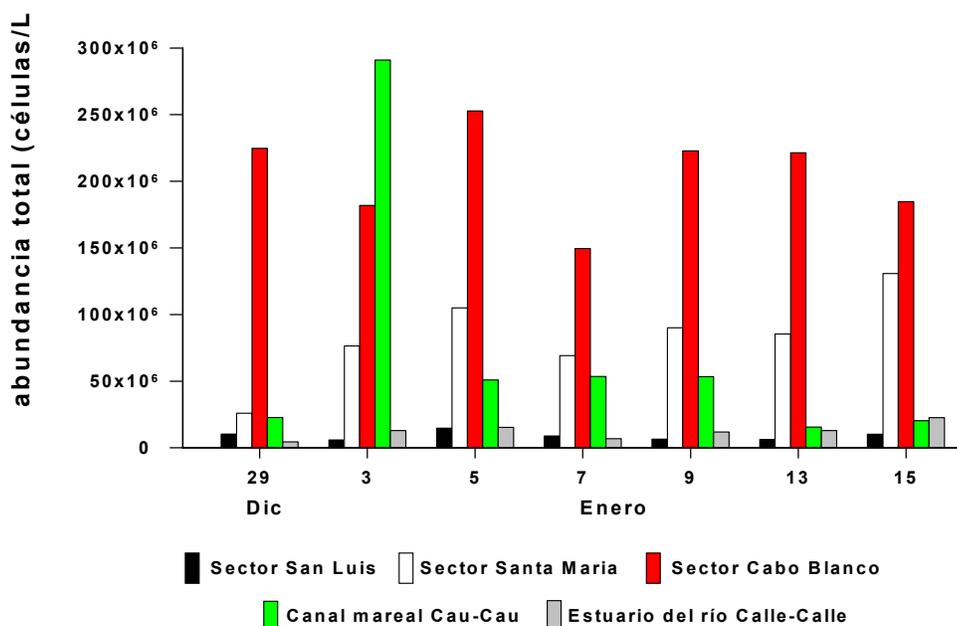


Figura 86. Abundancia total del fitopláncton en las aguas de las cinco estaciones muestreadas

Tabla 70. Abundancia total y de los principales grupos taxonómicos del fitoplancton presentes en las aguas del Santuario y humedales adyacentes. En paréntesis se entrega el valor porcentual de cada grupo del total.

	Total	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	Chrysophyceae	Cryptophyceae	Cyanophyceae	Dinophyceae	Euglenophyceae
Sector Fuerte San Luis								
29-Dic-2004	10 260 815	7 814 637 (76.16)	1 554 513 (15.15)	547 928 (5.34)	346 816 (3.38)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
03-Ene 2005	5 913 000	3 604 565 (60.96)	1 955 429 (33.07)	217 007 (3.67)	153 738 (2.60)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
05-Ene -2005	14 652 176	11 244 080 (76.74)	1 563 387 (10.67)	1 216 131 (8.30)	738 470 (5.04)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
07-Ene2005	8 869 613	6 562 627 (73.99)	1 260 372 (14.21)	521 533 (5.88)	521 533 (5.88)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
09-Ene-2005	6 521 826	5 082 459 (77.93)	1 390 453 (21.32)	43 044 (0.66)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
13-Ene-2005	6 217 422	4 947 824 (79.58)	1 137 788 (18.30)	0 (0.00)	129 944 (2.09)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
15-Ene-2005	10 174 000	6 946 807 (68.28)	2 691 023 (26.45)	0 (0.00)	520 909 (5.12)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Sector Santa María								
29-Dic-2004	25 956 583	18 950 901 (73.01)	5 139 403 (19.80)	1 432 803 (5.52)	303 692 (1.17)	129 783 (0.50)	0 (0.00)	0 (0.00)
03-Ene 2005	76 347 778	47 824 248 (62.64)	21 965 256 (28.77)	4 336 554 (5.68)	778 747 (1.02)	824 556 (1.08)	0 (0.00)	0 (0.00)
05-Ene -2005	105 000 000	72 082 500 (68.65)	27 363 000 (26.06)	3 402 000 (3.24)	294 000 (0.28)	1 942 500 (1.85)	0 (0.00)	0 (0.00)
07-Ene2005	69 173 813	55 311 381 (79.96)	10 715 024 (15.49)	2 483 340 (3.59)	608 730 (0.88)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
09-Ene-2005	90 005 799	66 739 300 (74.15)	20 701 334 (23.00)	1 692 109 (1.88)	738 048 (0.82)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
13-Ene-2005	85 391 421	58 066 166 (68.00)	23 602 189 (27.64)	2 519 047 (2.95)	563 583 (0.66)	0 (0.00)	213 479 (0.25)	0 (0.00)
15-Ene-2005	130 826 000	82 485 793 (63.05)	44 925 648 (34.34)	627 965 (0.48)	627 965 (0.48)	2 014 720 (1.54)	0 (0.00)	0 (0.00)
Sector Cabo Blanco								
29-Dic-2004	224 761 000	155 894 230 (69.36)	64 191 742 (28.56)	2 112 753 (0.94)	1 887 992 (0.84)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
03-Ene 2005	181 904 000	131 807 638 (72.46)	46 094 474 (25.34)	1 418 851 (0.78)	472 950 (0.26)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
05-Ene -2005	252 857 000	191 109 321 (75.58)	55 173 397 (21.82)	2 831 998 (1.12)	3 312 427 (1.31)	0 (0.00)	0 (0.00)	455 143 (0.18)
07-Ene2005	149 523 000	117 495 173 (78.58)	26 689 856 (17.85)	3 319 411 (2.22)	1 031 709 (0.69)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
09-Ene-2005	222 857 000	166 853 036 (74.87)	54 176 537 (24.31)	1 426 285 (0.64)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
13-Ene-2005	221 428 000	126 368 960 (57.07)	86 976 918 (39.28)	5 646 414 (2.55)	1 616 424 (0.73)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
15-Ene-2005	184 761 000	135 836 287 (73.52)	44 416 544 (24.04)	1 459 612 (0.79)	1 459 612 (0.79)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)

Continuación Tabla 70.

	Total	Bacillariophyceae	Chlorophyceae	Chrysophyceae	Cryptophyceae	Cyanophyceae	Dinophyceae	Euglenophyceae
Canal mareal Cau-Cau								
29-Dic-2004	22 739 200	17 286 340 (76.02)	4 641 071 (20.41)	216 022 (0.95)	475 249 (2.09)	0 (0.00)	86 409 (0.38)	0 (0.00)
03-Ene 2005	291 000 000	191 187 000 (65.70)	93 003 600 (31.96)	3 462 900 (1.19)	2 822 700 (0.97)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
05-Ene -2005	50 869 589	35 837 625 (70.45)	13 627 963 (26.79)	1 042 827 (2.05)	300 131 (0.59)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
07-Ene2005	53 478 189	42 884 160 (80.19)	10 289 204 (19.24)	256 695 (0.48)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
09-Ene-2005	53 347 799	34 916 134 (65.45)	16 596 500 (31.11)	778 878 (1.46)	256 069 (0.48)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
13-Ene-2005	15 521 599	8 867 490 (57.13)	1 129 972 (7.28)	391 144 (2.52)	217 302 (1.40)	4 912 586 (31.65)	0 (0.00)	0 (0.00)
15-Ene-2005	20 260 810	9 759 632 (48.17)	1 211 596 (5.98)	433 581 (2.14)	650 372 (3.21)	8 128 637 (40.12)	42 548 (0.21)	0 (0.00)
Estuario del río Calle-Calle								
29-Dic-2004	4 362 413	1 881 072 (43.12)	1 622 818 (37.20)	231 644 (5.31)	390 872 (8.96)	202 852 (4.65)	14 396 (0.33)	0 (0.00)
03-Ene 2005	12 913 000	6 426 800 (49.77)	5 481 569 (42.45)	216 938 (1.68)	303 456 (2.35)	1 260 309 (9.76)	86 517 (0.67)	0 (0.00)
05-Ene -2005	15 304 424	7 722 612 (50.46)	5 517 245 (36.05)	85 705 (0.56)	388 732 (2.54)	1 564 112 (10.22)	0 (0.00)	0 (0.00)
07-Ene2005	6 869 379	4 037 821 (58.78)	2 433 134 (35.42)	0 (0.00)	217 072 (3.16)	173 795 (2.53)	0 (0.00)	0 (0.00)
09-Ene-2005	11 868 000	9 114 624 (76.80)	1 737 475 (14.64)	521 005 (4.39)	434 369 (3.66)	0 (0.00)	42 725 (0.36)	0 (0.00)
13-Ene-2005	12 913 000	8 035 760 (62.23)	738 624 (5.72)	86 517 (0.67)	260 843 (2.02)	3 782 218 (29.29)	0 (0.00)	0 (0.00)
15-Ene-2005	22 652 217	11 806 336 (52.12)	1 128 080 (4.98)	1 345 542 (5.94)	561 775 (2.48)	7 737 997 (34.16)	43 039 (0.19)	0 (0.00)

La composición de la comunidad fitoplanctónica de las aguas analizadas estuvo dominada por microalgas del tipo diatomeas (i.e. clase Bacillariophyceae), las cuales representaron en general, mas del 60% de la abundancia total (Fig. 87, Tabla 70). El segundo grupo con mayor abundancia en el fitoplancton fueron las microalgas de la Clase Chlorophyceae, las que en general representaron entre el 15 y el 30% de la abundancia total (Fig. 87, Tabla 70). Los otros grupos detectados fueron Chrysophyceae, Cryptophyceae, Cyanophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae, los que en general presentaron abundancias relativamente bajas (Fig. 87, Tabla 70). Sin embargo, el grupo de las cianófitas (i.e. Clase Cyanophyceae) presentó abundancias relativamente altas en las estaciones del canal mareal Cau-Cau y el estuario del río Calle-Calle durante los muestreos del 13 y 15 de Enero del 2005. Durante estos muestreos, las cianófitas representaron entre el 30 y el 40 % de la abundancia total del fitoplancton, con abundancias que fluctuaron entre 3 782 218 y 8 128 637 cel/L (Fig. 87, Tabla 70).

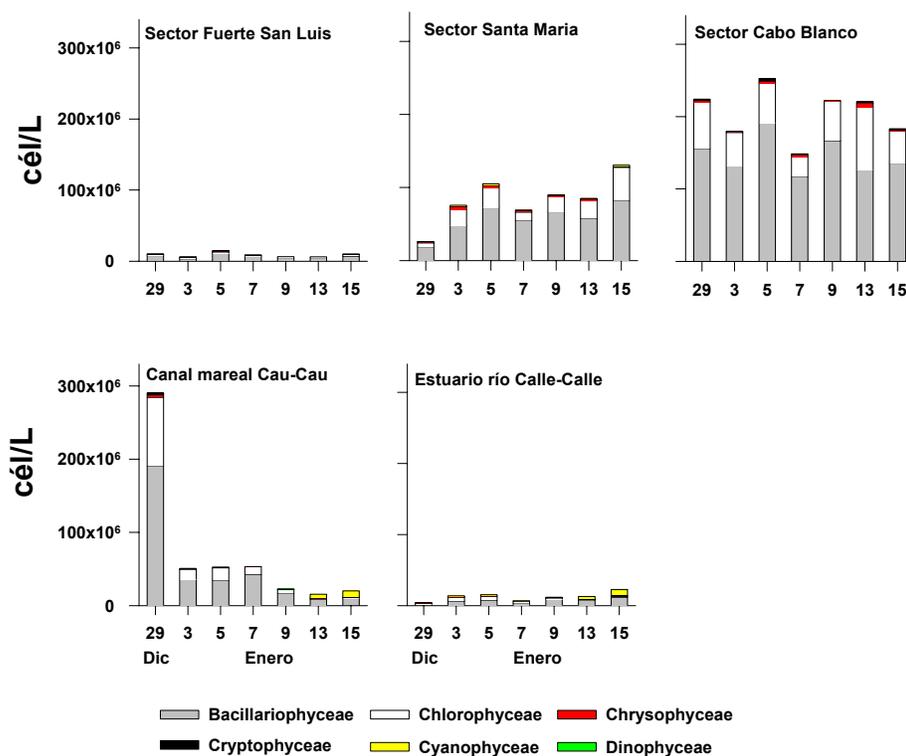


Figura 87. Composición de la comunidad fitoplanctónica en las cinco estaciones muestreadas

Mediante análisis de varianza, se realizaron los mismos tipos de comparaciones realizadas para las características físico-químicas del agua y mencionadas anteriormente: el primer paso fue obtener el promedio total de las concentraciones de fitoplancton obtenidos para las tres estaciones del río Cruces (sectores Fuerte San Luis, Santa María y Cabo Blanco; siempre afectadas por aguas color marrón) y compararlo con el promedio total de los valores obtenidos para las dos estaciones ubicadas fuera del río Cruces (canal mareal Cau-Cau y estuario del río Calle-Calle); la segunda comparación fue promediar los valores obtenidos para el fitoplancton de las estaciones que durante los muestreos estuvieron afectadas por las aguas de color marrón (se incluyen entonces en este grupo, ocasiones en que las aguas color marrón llegaron hasta la estación ubicada en el canal mareal Cau-Cau) y comparar el promedio obtenido con el promedio total de los valores obtenidos para las aguas (estaciones) que nunca estuvieron afectadas por ese tipo de aguas (las del estuario del río Calle-Calle y del canal mareal Cau-Cau en la mayoría de los casos; cf. Figuras de ANEXO V). Los resultados de los análisis de varianza se presentan en la Figura 88. Si bien los resultados de la primera comparación muestran que la abundancia fitoplanctónica de las estaciones dentro del Santuario registraron promedios mayores que las estaciones fuera del mismo (i.e. 99 209 583 y 42 435 687 cel/L, en las estaciones dentro y fuera del Santuario, respectivamente), los mismos no difirieron significativamente ($P > 0.05$) (Fig. 86). En contraste, los resultados de la segunda comparación muestran que las estaciones afectadas por aguas de color marrón, presentaron abundancias fitoplanctónicas significativamente mayores ($P < 0.05$) que las aguas carentes de ese color (promedios de 10 327 5776 cel/L vs. 1 880 202 cel/L (Fig. 88).

Además de los grupos fitoplanctónicos arriba mencionados, se detectó la presencia de la bacteria *Planctomyces bekefii* en aguas del Santuario. Esta es una bacteria de amplia distribución geográfica y de ambientes límnicos. Se ha mencionado la presencia de estas bacterias en aguas eutroficadas o contaminadas, con rangos de pH de entre 6.8 a 9.4 y/o con valores altos de conductividad y temperaturas estivales. Además, se ha sugerido que su desarrollo se ve favorecido por la descomposición de algas microscópicas después que las mismas han alcanzado los máximos de

abundancia, o por el resultado de producción de H_2S e incrementos en la concentración de Hierro y Manganeseo en el agua (Fuerst, 1995).

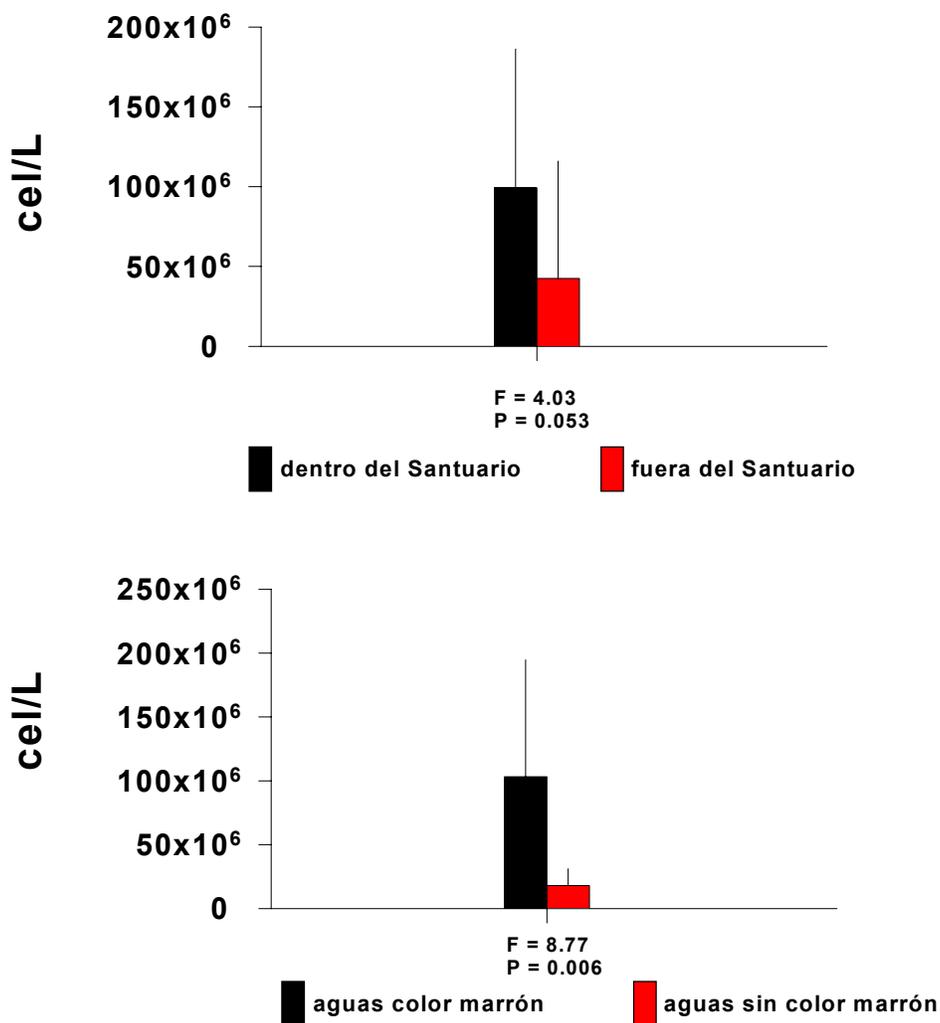


Figura 88. Valores promedio de la abundancia total del fitoplancton del agua en las dos comparaciones realizadas. Arriba: en negro=datos provenientes de estaciones ubicadas dentro del Santuario (Fuerte San Luis, Santa María y Cabo Blanco), en rojo=estaciones ubicadas fuera del Santuario (canal mareal Cau-Cau y estuario del río Calle-Calle); abajo: en negro=datos provenientes de estaciones afectadas por las aguas color marrón, en rojo=estaciones sin aguas de color marrón (ver texto).

7.5. Extensión a otros humedales

Durante el desarrollo de los muestreos y análisis de este estudio, se constató que aguas de color marrón también ocurrían en otros humedales cercanos al Santuario, específicamente lagunas de pequeño tamaño (ca. 1-2 hectáreas) cercanas a los ríos Pichoy y Cayumapu. Se evaluó entonces la hipótesis de que características físico-químicas y fitoplanctónicas similares al río Cruces y cauces tributarios estaban ocurriendo fuera del mismo. Para evaluar las consecuencias de esta hipótesis, se realizaron muestreos y análisis de aguas durante Marzo y Abril del 2005, utilizando procedimientos de muestreo y análisis similares a los ya mencionados anteriormente.

7.5.1. Resultados

Las Tablas 71-74 muestran las características físico-químicas del agua en el Santuario y cauces tributarios, lagunas adyacentes a los ríos Pichoy y Cayumapu y humedales cercanos a Valdivia.

Durante Marzo del 2005, los valores de temperatura fluctuaron entre los 16.7°C (Sector San Luis) y 23.2°C (sector Santo Domingo) (Tabla 71). En general, los valores más altos de temperatura ocurrieron en las lagunas o humedales con menor movimiento de agua (sector del río Cayumapu, Santo Domingo y Estancilla). La conductividad del agua fue notoriamente más alta en Cabo Blanco (3980 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y Santo Domingo (719 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Tabla 71). Los valores de pH fueron similares en el agua de todos los sitios analizados. Las aguas del Santuario, cauces tributarios y lagunas, fueron las de menor transparencia (medida mediante el uso de Disco Secchi), a la vez que en general, los humedales cercanos a Valdivia presentaron los valores más altos de transparencia (canal mareal Cau-Cau, estuarios de los ríos Calle-Calle y Valdivia)(Tabla 71).

Similar a lo observado durante Marzo del 2005, los valores más altos de temperatura durante Abril del 2005, se registraron en humedales con menor movimiento

de agua (Laguna 1 y Laguna 2) (Tabla 71). Durante este mes, las aguas de Cabo Blanco y Santo Domingo presentaron valores notoriamente más altos de conductividad (685 y 3110 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente). Los valores de pH fueron similares en todos los sitios visitados. Los valores de transparencia del agua fueron más altos en los humedales de Valdivia, situación similar a la registrada durante el mes de Marzo del 2005. Interesa destacar, que entre Marzo y Abril del 2005, la transparencia del agua incrementó notoriamente en los sitios estudiados del Santuario (Tabla 71).

La Tabla 72 muestra los valores de concentración de Sólidos suspendidos y disueltos (totales, orgánicos e inorgánicos). Durante Marzo del 2005, los valores más altos de Sólidos suspendidos ocurrieron en el Santuario, cauces tributarios y lagunas cercanas al mismo; las concentraciones más bajas de esos sólidos se detectaron en los humedales cercanos a Valdivia (Tabla 72). Interesa señalar que en el cabezal o parte superior del Santuario (sector Fuerte San Luis), el valor promedio de concentración de sólidos suspendidos fue más bajo que en el resto del humedal (Tabla 72). La fracción inorgánica de los Sólidos suspendidos, fue similar o mayor a la orgánica en la mayoría de los humedales, con excepción del caso de las lagunas donde dominó la fracción orgánica. Los valores más altos de Sólidos disueltos se registraron en los humedales de Valdivia y los más bajos en el resto de estaciones de muestreo, aún cuando la concentración de estos sólidos en el sector Cabo Blanco del Santuario fue también alta (Tabla 72). Con excepción del agua de las lagunas cercanas al Santuario, la fracción inorgánica fue la dominante en los Sólidos disueltos (Tabla 72).

De Marzo a Abril del 2005, se observó una notoria disminución en las concentraciones de Sólidos suspendidos y disueltos en el agua de todos los humedales estudiados (Tabla 72). Los valores más altos de Sólidos suspendidos totales se registraron en las aguas del Santuario y lagunas cercanas al mismo y los más bajos en los humedales de Valdivia. La fracción dominante de los Sólidos suspendidos fue la inorgánica en el agua de todos los sitios de muestreo, con excepción de las aguas de las lagunas, donde la fracción orgánica fue similar o mayor a la inorgánica (Tabla 72). En general, los valores más altos de Sólidos disueltos se registraron en las aguas de los

humedales de Valdivia y dentro del Santuario (e.g. Cabo Blanco) y los más bajos en las lagunas cercanas a los ríos Pichoy y Cayumapu. En general, la fracción inorgánica fue la más importante en todos los sitios de muestreo (Tabla 72).

Durante Marzo del 2005, los metales pesados disueltos con valores más altos de concentración, fueron Hierro y Manganeso (Tabla 73). Los valores más altos de esos metales, se registraron en cauces tributarios del río Cruces (ríos Pichoy y Cayumapu) y en las lagunas cercanas al Santuario, en tanto que los valores más bajos se registraron en las aguas de los humedales de Valdivia (Tabla 73).

De Marzo a Abril del 2005, se observó una notoria disminución en las concentraciones de metales pesados disueltos en el agua de todos los humedales estudiados (Tabla 73). En general, Hierro y Manganeso fueron los metales con valores más altos de concentración, aunque no con la magnitud registrada durante Marzo del 2005. Las concentraciones de estos metales fueron levemente más altas en las lagunas cercanas al Santuario (Tabla 73).

Durante Marzo del 2005, los metales pesados en suspensión (i.e. retenidos en filtros) con mayor concentración fueron Hierro y Manganeso (Tabla 74). El valor más alto de concentración de esos metales pesados se registró en una de las lagunas cercanas al Santuario (Laguna 2). Concentraciones altas de metales pesados (>1.3 mg/L) también ocurrieron en aguas del Santuario y humedal de Santo Domingo, a la vez que los valores más bajos ocurrieron en el canal mareal Cau-Cau y en el estuario del río Valdivia (Estancilla) (Tabla 74).

Durante Abril del 2005, la concentración de metales suspendidos en el agua de las estaciones de muestreo fue notoriamente menor que la registrada durante Marzo del 2005. El Hierro fue el metal pesado que registró en general, las concentraciones más altas en relación al resto de los metales. En las lagunas cercanas al Santuario, se registraron los valores más altos de concentración de Hierro, en tanto que los más bajos ocurrieron en las aguas de los humedales de Valdivia (Tabla 74).

Tabla 71. Características físico-químicas de las aguas de diferentes humedales de durante los meses de Marzo y Abril del 2005. F=casos en que el disco Secchi tocó fondo.

	Fecha de muestreo	°C	μS/cm	pH	Secchi (cm)
MARZO 2005					
Santuario y tributarios					
San Luis	10/03/05	16.7	167	7.1	39
Santa Maria	10/03/05	16.9	171	7.2	39
Río Pichoy (Tralcao)	06/03/05	17.6	42	6.8	87
Río Cayumapu	06/03/05	22.4	81	6.5	81
Cabo Blanco	10/03/05	19.1	3980	7.1	55
Lagunas cercanas al Santuario					
Laguna 2 (ca. Río Cayumapu)	06/03/05	20.2	42	6.3	76
Laguna 3 (ca. Río Cayumapu)	06/03/05	20.5	46	6.4	66
Humedales de Valdivia					
Canal mareal Cau-Cau	10/03/05	19.5	270	7.1	206
Estuario Río Calle-Calle (Puente Pedro de Valdivia)	10/03/05	18.3	47	7.3	317
Santo Domingo (salida SW de Valdivia)	06/03/05	23.2	719	7.1	57
Estancilla (Humedal Río Valdivia)	06/03/05	21.7	107	6.9	132
ABRIL 2005					
Santuario y tributarios					
San Luis	02/04/05	14.9	140	7.5	384
Santa Maria	02/04/05	15.5	125	7.4	171
Río Pichoy (Tralcao)	02/04/05	14.0	34	7.2	135
Cabo Blanco	02/04/05	15.9	685	7.1	169
Lagunas cercanas al Santuario					
Laguna 1 (ca. Río Pichoy)	02/04/05	22.0	42	6.9	30(F)
Laguna 2 (ca. Río Cayumapu)	02/04/05	17.6	32	7.1	65
Humedales de Valdivia					
Canal mareal Cau-Cau	02/04/05	17.0	50	7.3	420
Estuario río Calle-Calle (Puente Calle-Calle)	02/04/05	17.0	55	7.7	430
Santo Domingo (salida SW de Valdivia)	02/04/05	15.0	3110	6.6	135

Tabla 72. Concentración promedio de sólidos suspendidos y disueltos (mg/L) en las aguas de diferentes humedales durante los meses de Marzo y Abril del 2005. Durante el muestreo de Marzo, solo se obtuvo una muestra en cada humedal; durante el muestreo de Abril se obtuvieron 3 réplicas, de ahí que para este mes se entreguen valores promedio y desviación estándar en paréntesis.

	Fecha de muestreo	Sólidos suspendidos			Sólidos disueltos		
		total	orgánicos	inorgánicos	total	orgánicos	inorgánicos
MARZO 2005							
Santuario y Tributarios							
San Luis	10/03/05	3.5	2.0	1.5	132.0	34.0	98.0
Santa Maria	10/03/05	25.0	16.5	8.5	162.0	36.0	126.0
Río Pichoy (Tralcao)	06/03/05	22.0	6.0	16.0	58.0	18.0	40.0
Río Cayumapu	06/03/05	17.4	10.0	7.4	356.0	94.0	262.0
Cabo Blanco	10/03/05	27.5	10.0	17.5	2452.0	468.0	1984.0
Lagunas cercanas al Santuario							
Laguna 2 (ca. Río Cayumapu)	06/03/05	20.0	14.0	6.0	32.0	22.0	10.0
Laguna 3 (ca. Río Cayumapu)	06/03/05	68.0	53.0	15.0	26.0	16.0	10.0
Humedales de Valdivia							
Canal mareaal Cau-Cau	10/03/05	3.6	1.9	1.7	588.0	110.0	478.0
Estuario río Calle-Calle (Puente Pedro de Valdivia)	10/03/05	2.3	1.0	1.3	660.0	116.0	544.0
Santo Domingo (salida SE de Valdivia)	06/03/05	8.0	3.4	4.6	4806.0	908.0	3898.0
Estancilla (Humedal Río Valdivia)	06/03/05	9.9	3.9	6.0	7242.0	1444.0	5798.0
ABRIL 2005							
Santuario y tributarios							
San Luis	02/04/05	3.4 (0.2)	1.4 (0.4)	2.0 (0.2)	275.2 (16.4)	69.28 (22.3)	205.96 (15.0)
Santa Maria	02/04/05	8.7 (1.5)	3.2 (0.7)	5.5 (0.9)	159.7 (34.1)	46.80 (17.9)	112.93 (50.3)
Río Pichoy (Tralcao)	02/04/05	7.2 (0.2)	3.0 (0.2)	4.2 (0.2)	46.7 (12.9)	9.33 (8.1)	37.33 (9.5)
Cabo Blanco	02/04/05	8.7 (0.8)	3.7 (0.1)	5.0 (0.7)	813.9 (34.2)	110.93 (43.7)	702.93 (16.1)

Continuación Tabla 72

	Fecha de muestreo	Sólidos suspendidos			Sólidos disueltos		
		total	orgánicos	inorgánicos	total	orgánicos	inorgánicos
Lagunas cercanas al Santuario							
Laguna 1 (ca. Río Pichoy)	02/04/05	6.3 (0.1)	2.9 (0.1)	3.3 (0.1)	26.1(6.8)	9.1 (8.8)	17.1 (8.2)
Laguna 2 (ca. Río Cayumapu)	02/04/05	4.3 (0.9)	3.5 (0.9)	0.9 (0.1)	20.3 (5.7)	7.2 (6.1)	13.1 (5.7)
Humedales de Valdivia							
Canal mareal Cau-Cau	02/04/05	2.9 (0.3)	1.47 (0.1)	1.4 (0.4)	94.8 (42.7)	49.1 (38.9)	45.7 (25.8)
Estuario río Calle-Calle (Puente Calle-Calle)	02/04/05	3.7 (0.7)	1.8 (0.4)	1.9 (0.5)	121.1 (9.5)	78.7 (42.4)	42.4 (34.0)
Fundo Santo Domingo (salida SE de Valdivia)	02/04/05	8.9 (0.5)	3.6 (0.2)	5.3 (0.5)	2540.7 (10.1)	404.0(16.4)	2136.7 (23.7)

Tabla 73. Concentraciones de metales pesados disueltos en el agua de diferentes humedales durante Marzo y Abril del 2005. No se analizaron concentraciones de metales pesados en todos los sitios estudiados para factores físico-químicos.

METALES DISUELTOS EN EL AGUA (mg/L)									
	Hierro	Manganeso	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc	Cadmio	Mercurio
MARZO 2005									
Santuario y tributarios									
San Luis	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Santa María	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Río Pichoy (Tralcao)	0.94	0.13	0.025	<0.002	0.002	0.0028	0.012	<0.0002	<0.0008
Río Cayumapu	0.75	0.17	0.017	<0.002	<0.002	0.0015	0.010	<0.0002	<0.0008
Cabo Blanco	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lagunas cercanas al Santuario									
Laguna 2 (ca. Río Cayumapu)	0.59	0.092	0.039	<0.002	0.004	0.0020	0.027	<0.0002	<0.0008
Laguna 3 (ca. Río Cayumapu)	0.69	0.22	0.037	<0.002	<0.002	0.0014	0.064	<0.0002	<0.0008
Humedales de Valdivia									
Canal mareal Cau-Cau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estuario río Calle-Calle (Puente Pedro de Valdivia)	0.08	0.015	0.014	<0.002	<0.002	0.0028	0.013	<0.0002	<0.0008
Santo Domingo (salida SW de Valdivia)	0.91	0.12	0.016	0.003	<0.002	0.001	0.0084	<0.0002	<0.0008
Estancilla (Humedal Río Valdivia)	0.32	0.011	0.012	<0.002	<0.002	0.0014	0.010	<0.0002	<0.0008
ABRIL 2005									
Santuario y tributarios									
San Luis	0.014	<0.0046	<0.001	<0.002	<0.002	<0.001	0.0071	<0.002	-
Santa María	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Río Pichoy (Tralcao)	0.008	0.011	0.0036	<0.002	<0.002	0.0036	0.0017	<0.002	-
Cabo Blanco	0.038	0.0064	0.0034	<0.002	<0.002	<0.001	0.0002	<0.002	-
Lagunas cercanas al Santuario									
Laguna 1 (ca. Río Pichoy)	0.021	0.052	0.0037	<0.002	<0.002	<0.001	0.0067	<0.002	-
Laguna 2 (ca. Río Cayumapu)	0.063	0.019	<0.0014	<0.002	<0.002	<0.001	0.018	<0.002	-
Humedales de Valdivia									
Canal mareal Cau-Cau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estuario río Calle-Calle (Puente Calle- Calle)	0.004	0.0009	0.0032	<0.002	<0.002	<0.001	0.0022	<0.002	-
Santo Domingo (salida SW de Valdivia)	0.020	0.027	0.0038	0.002	<0.002	<0.001	0.014	<0.002	-

Tabla 74. Concentraciones de metales pesados suspendidos en el agua de diferentes humedales Marzo y Abril del 2005. No se analizaron concentraciones de metales pesados en todos los sitios estudiados para factores físico-químicos. Todas las concentraciones están en mg/L

	Hierro	Manganeso	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc	Cadmio	Mercurio
MARZO 2005									
Santuario y tributarios									
San Luis	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Santa María	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Río Pichoy (Tralcao)	1.83	0.12	0.005	<0.003	<0.003	<0.0016	0.0099	<0.0003	0.00003
Río Cayumapu	1.32	0.17	0.003	<0.004	<0.003	0.0017	0.0080	<0.0003	<0.00003
Cabo Blanco	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lagunas cercanas al Santuario									
Laguna 2 (ca. Río Cayumapu)	6.23	0.30	0.041	<0.03	<0.025	<0.012	0.041	<0.002	<0.0002
Laguna 3 (ca. Río Cayumapu)	1.90	0.24	0.029	<0.012	<0.012	<0.006	0.025	<0.0009	<0.0001
Humedales de Valdivia									
Canal mareal Cau-Cau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estuario río Calle-Calle (Puente Pedro de Valdivia)	0.11	0.012	0.003	<0.003	<0.003	0.0016	0.0036	<0.0003	<0.00002
Santo Domingo (salida SW de Valdivia)	1.34	0.010	<0.002	<0.003	<0.003	<0.0016	0.0056	<0.0003	<0.00002
Estancilla (Humedal Río Valdivia)	0.17	0.006	0.005	<0.003	<0.003	<0.0016	0.0086	<0.0003	<0.00002
ABRIL 2005									
Santuario y tributarios									
San Luis	0.014	<0.0008	<0.001	<0.002	<0.002	<0.001	0.0006	<0.002	-
Santa María	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Río Pichoy (Tralcao)	0.081	<0.0008	<0.001	<0.002	<0.002	<0.001	0.0017	<0.002	-
Cabo Blanco	0.024	<0.0008	<0.001	<0.002	<0.002	<0.001	0.0002	<0.002	-
Lagunas cercanas al Santuario									
Laguna 1 (ca. Río Pichoy)	0.11	<0.0008	<0.001	<0.002	<0.002	<0.001	0.0003	<0.002	-
Laguna 2 (ca. Río Cayumapu)	0.54	0.12	0.0013	0.006	<0.002	<0.001	0.0087	<0.002	-
Humedales de Valdivia									
Canal mareal Cau-Cau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estuario río Calle-Calle (Puente Calle- Calle)	0.009	<0.0008	<0.001	<0.002	<0.002	<0.001	0.0002	<0.002	-
Santo Domingo (salida SW de Valdivia)	0.034	<0.0008	<0.0019	<0.002	<0.002	<0.001	0.0032	<0.002	-

7.6. Conclusiones

- i) Las aguas color marrón que han ocurrido en aguas del Santuario y cauces tributarios, se caracterizan por tener valores de conductividad y concentración de Sólidos suspendidos y Disueltos, nutrientes, metales pesados y fitoplancton, significativamente más altos que las aguas que carecen de ese color.

- ii) Las características anteriores, permiten caracterizar a esas aguas color marrón como una masa de agua independiente, con características similares de superficie a fondo y que no se mezcla con las aguas de los estuarios de los ríos Calle-Calle y Valdivia en su dispersión aguas abajo del Santuario. Tal independencia se refleja claramente en la variabilidad temporal de la conductividad medida durante un muestreo realizado el 4 de Marzo del 2005 en los sectores Cabo Blanco (Santuario) y puente Calle-Calle (estuario del río Calle-Calle) (Fig. 89): i.e. la conductividad del agua en Cabo Blanco (aguas color marrón) no fue afectada por la variabilidad mareal, lo que sugiere que la carga de sales disueltas en las aguas color marrón no está relacionada a aguas que suban por el estuario del río Cruces durante la marea alta.

- iii) No es claro el como se originó el color marrón que ha afectado a las aguas del Santuario durante los últimos meses. Sin embargo, puede presentarse el siguiente cuerpo de hipótesis: la desaparición y/o disminución de la cobertura del Luchecillo, habrían dejado nutrientes disponibles en la columna de agua y en concentraciones más altas de lo normal. Esas altas concentraciones provendrían de los restos de las plantas muertas y de las cantidades de nutrientes ya no utilizadas por las mismas. La alta disponibilidad de nutrientes en la columna de agua habría facilitado el aumento explosivo del fitoplancton en el Santuario, cuyas altas densidades habrían contribuido al color marrón de las aguas. Las enormes

cantidades de Luchecillo depositadas en el fondo del Santuario, podrían haber originado condiciones reductoras que habrían favorecido la solubilización de Hierro desde los sedimentos hacia la columna de agua, quedando este biodisponible. La probable solubilización de Hierro hacia la columna de agua, explicaría además la aparición de aguas color marrón en el Santuario y cauces tributarios, las que durante mareas de sicigia han alcanzado hasta las aguas de los estuarios de los ríos Calle-Calle y Valdivia. Se agrega aquí el hecho de que esa probable liberación de Hierro hacia la columna de agua, habría incrementado los ya altos niveles de este metal pesado y que como se concluyó en el Segundo Informe habrían producido la muerte masiva de las poblaciones de *E. densa*. Finalmente, no debe olvidarse que la ausencia del Luchecillo habría favorecido también la resuspensión de los sedimentos lo que habría resultado en disminución de la transparencia del agua.

- iv) Aguas color marrón también se detectaron en humedales aparentemente sin conexión directa con el Santuario, como lagunas cercanas a los ríos Pichoy y Cayumapu, y en humedales ubicados al sur de Valdivia. Las conductividades más bajas medidas en las aguas de esas lagunas, en relación a sitios del Santuario y otros humedales de Valdivia (e.g. Santo Domingo), y la dominancia de la fracción orgánica en sólidos suspendidos y disueltos durante la mayor parte de los muestreos, sugieren que el color marrón de las aguas en esas lagunas no tiene el mismo origen que el color de las aguas en los otros humedales estudiados; es decir, en esas lagunas no estaría ocurriendo el mismo fenómeno que ocurre en el Santuario.
- v) La clase Bacillariophyceae (Diatomeas) correspondió al grupo de fitoplancton denso-dominante en el tiempo y en toda el área de estudio. En el sector interior intermedio del Santuario, *Aulacoseira ambigua* fue la especie mas relevante en cuanto al aporte, seguido de géneros como

Tabellaria, *Achnanthes* y *Cymbella*, estos últimos característicos del grupo de diatomeas bentónicas. En los sitios mas exteriores se mantiene la dominancia de esta clase existiendo un reemplazo por géneros como *Ciclotella* y *Fragillaria*.

- vi) Durante los últimos muestreos, el fitoplancton de las estaciones ubicadas en el canal mareal Cau-Cau y estuario del río Calle-Calle mostraron un aumento proporcional de la cianófitas.

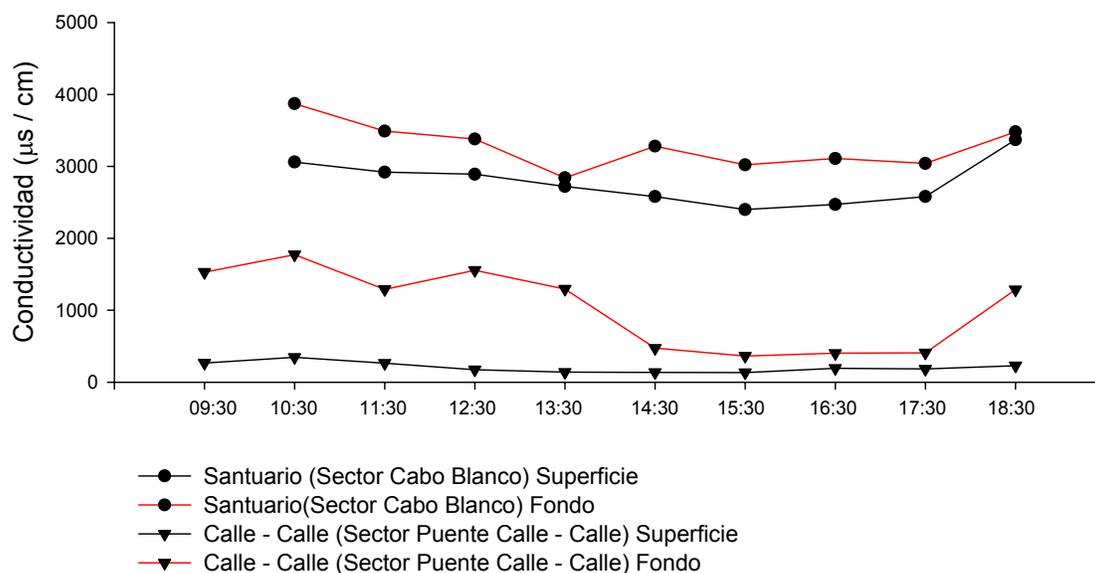


Figura 89. Variabilidad temporal de la conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) del agua en los estuarios de los ríos Cruces (Sector Cabo Blanco) y Calle-Calle (sector Puente Calle-Calle), durante el 4 de Marzo del 2005. Notese la disminución de la conductividad en las aguas del fondo (ca. 4m) en el estuario del río Calle-Calle, durante el período de marea baja (13:30-18:30 PM):

Referencias

- FUERST J.A. (1995) The planctomycetes: emerging models for microbial ecology, evolution and cell biology. *Microbiology* 141: 1493-1506.
- JAVORNICKY P. 1958. Revision einiger Methoden zum Festellen der Qualität des phytoplanktons. *Sci. Pap, Ins. Che, Temhul, Prague, Fuel and Water* 2:283-376.
- PARRA O, M GONZALEZ, V DELLAROSSA, P RIVERA, M ORELLANA. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. I. Cyanophyceae.

II. Chrysophyceae y Xanthophyceae. III. Cryptophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae. IV. Bacillariophyceae. V. Chlorophyceae. Ediciones Universidad de Concepción.

PARRA, O. & C. E. BICUDO 1998. Introducción a la biología y sistemática de las aguas continentales. Ediciones Universidad de Concepción. 268 pag.

UTERMOHL H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Internat. Verein. Limnol. 9:1-38.

8. Bioacumulación de metales pesados en organismos bentónicos

8.1. Antecedentes

La bioacumulación es el aumento de la concentración de un elemento en un organismo durante un intervalo de tiempo, comparado con la concentración en el ambiente (agua, alimento, etc.). La bioacumulación depende del ingreso, metabolismo, almacenaje y excreción del elemento. La duración de exposición de un organismo a un elemento es un factor importante para la acumulación del mismo, al igual que la duración de su ciclo de vida. La bioacumulación es un proceso normal, el cual resulta solamente dañino cuando el equilibrio entre la exposición y bioacumulación, en relación con la toxicidad del elemento, es mayor.

Con el objetivo de evaluar la biodisponibilidad y la bioacumulación de metales pesados en el zooplancton y bentos del Santuario, se realizaron estudios en la columna de agua, agua intersticial del sedimento y en diferentes grupos de organismos acuáticos que viven cerca de la interfase agua-sedimento.

8.2. Metodologías para la obtención de las muestras

Se muestreó en dos lugares del Santuario (6 de Diciembre del 2004) con el fin de obtener muestras de agua, zooplancton y bentos. Debido a la ausencia completa de zooplancton o microcrustáceos en la columna de agua (ver más adelante), solo fue posible recolectar organismos que viven cerca del sedimento o dentro de los centímetros superficiales del mismo. La obtención de las muestras y su procedimiento para determinar los metales pesados, se realizó de acuerdo a Mages *et al.* (2001), Miesbauer *et al.* (2001) y Woelfl *et al.* (2003, 2004). Una de las estaciones de muestreo se ubicó en el sector del Fuerte San Luis (estación 1, Fotografía 7), a una profundidad aproximada de 20-40 cm y a una distancia aproximada de la orilla de 0.5-2.5 m. La otra estación se ubicó en el sector de San Martín (estación 2, Fotografía 8), a una profundidad aproximada de 70 cm y a una distancia proximada de 50 m de la orilla.



Fotografía 7. Muestreo de bentos y plancton en la estación 1.



Fotografía 8. Muestreo de bentos y plancton en la estación 2.

Con una red de zooplancton libre de metales (apertura boca: 25 cm, apertura de malla: 50 μ m) se realizaron arrastres verticales y horizontales en la columna de agua (centro del río) para recolectar zooplancton (microcrustáceos). Ya en terreno se comprobó que no existía zooplancton alguno en estas muestras, las que además se caracterizaron por presentar gran cantidad de partículas en suspensión y coloración marrón. Se procedió entonces a recolectar agua en los lugares donde se encontraron microcrustáceos y bentos, es decir agua de fondo (10 cm sobre el sedimento) y agua intersticial (agua disuelta en el sedimento). Las muestras de agua se recolectaron

usando un frasco plástico (1 L) amarrado a un palo de bambú. Se recolectaron muestras de sedimento de un estrato de aproximadamente 10 cm de espesor.

8.3. Metodologías para el análisis de las muestras

Se recolectaron y seleccionaron en terreno los organismos bentónicos, principalmente *Cyclops*, invertebrado que vive cerca e incluso dentro del sedimento. Durante los dos días siguientes, se continuó con la recolección y selección de los organismos en laboratorios del Instituto de Zoología de la UACH. Este largo tiempo de selección se debió a: i) con excepción de *Cyclops* en la estación 1, la abundancia de organismos bentónicos fue muy reducida, ii) fue necesario seleccionar también organismos bentónicos muy pequeños (< 0,5 mm) usando una lupa LEICA M6. Después de la selección, los organismos se lavaron tres veces con agua del Santuario previamente filtrada con un filtro Nuclepore 0.2 μm . Esto con el objetivo de remover partículas, que pudiesen influir en los resultados de las concentraciones de metales pesados. Finalmente, los organismos se trasladaron en agua "suprapure" (sin metales) y se congelaron en Nitrógeno líquido usando frascos de teflón (1 mL).

Para secar los organismos, se liofilizaron las muestras congeladas durante 24 horas en un equipo Leybold-Heraeus modelo LYOVAC GT 2 (Instituto de Microbiología, UACH). Posteriormente, los organismos secos se seleccionaron, identificaron, pesaron con una balanza ULTRAMICRO ANALITICA Sartorius (sensibilidad=0.1 μg) y prepararon sobre Carrier de cuarzo. Finalmente, se midió el contenido de metales pesados usando la técnica TXRF (fluorescencia de reflexión total de rayos X) y un espectrómetro total 8030 C (FEI Company Munich, Germany) (Mages *et al.* 2001). Para determinar la concentración de los metales pesados disueltos en el agua (sobre y dentro del sedimento), se filtró el agua sobrenatante del sedimento con filtros de 0.2 μm contenidos en jeringas (5 ml); posteriormente se traspasaron a frascos "Eppendorf" de 1 ml, adicionándoles 2 μl de ácido nítrico concentrado (HNO_3 Suprapure, Merck).

El factor de bioacumulación de metales pesados en los organismos se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Factor de bioacumulación} = \frac{\text{concentración del metal pesado en el organismo (mg metal pesado/kg peso seco)}}{\text{concentración del metal pesado disuelto en el agua (mg metal pesado/L)}}$$

Se asumió una densidad de 1 g/ml de agua para convertir volumen en peso.

8.4. Resultados

Metales pesados en el agua

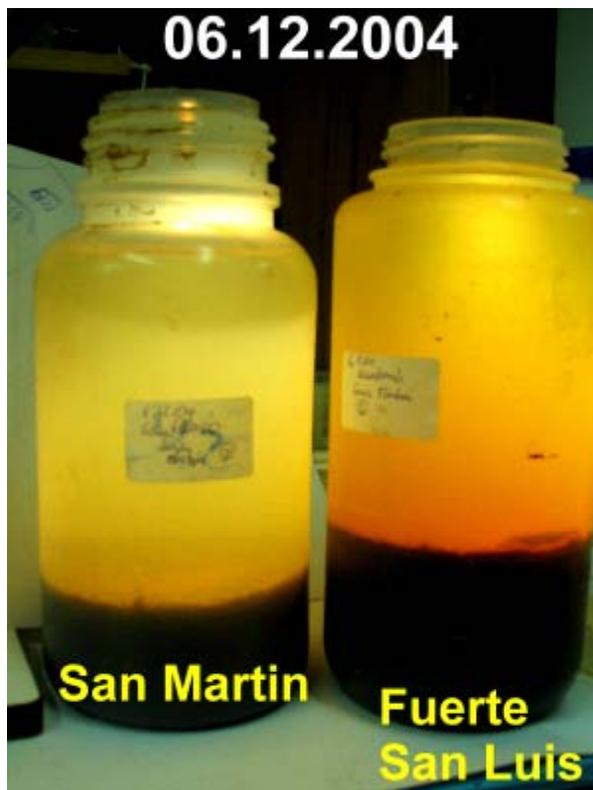
En la Tabla 75 se presentan las concentraciones de metales pesados disueltos en el agua durante el muestreo de Diciembre del 2004; se agregan datos recolectados en el área durante Octubre del 2004 para fines comparativos. Con excepción del Manganeseo, las concentraciones de esos metales estuvieron en general, dentro de un rango normal para aguas de cuerpos acuáticos superficiales y obtenidas cerca de la interfase agua-sedimento y del agua intersticial, aún cuando las concentraciones de Cobre parecen ser levemente elevados.

Las concentraciones de los metales pesados fueron similares en los dos sitios de muestreo, excepto Manganeseo y Hierro en el agua intersticial, los que mostraron concentraciones aproximadamente 60-70% más altas en la estación 2 (sector San Martín del Santuario). Llamam la atención, las elevadas concentraciones de Manganeseo en el agua sobre el sedimento, lo que al contrario del Hierro, alcanzan valores muy similares a los del agua intersticial.

Tabla 75. Concentraciones de metales pesados disueltos en agua recolectada sobre y dentro del sedimento (agua intersticial) en las estaciones 1 (sector Fuerte San Luis) y 2 (sector San Martín) durante Diciembre del 2004. Los valores se expresan en µg/L.

Elemento	Agua sobre sedimento		Agua intersticial		Agua superficial
	estación 1	estación 2	estación 1	estación 2	Octubre 2004 N=6
Cromo	<2	<3	<4	<5	< 2
Manganeso	1285	1899	1298	2623	17.1 (6.1)
Hierro	294	382	5695	9725	286 (39)
Níquel	1.88	1.99	5.10	<2	< 1
Cobre	3.55	2.78	11.23	<1.5	2.95 (1.10)
Zinc	2.41	3.23	9.67	1.61	2.51(0.96)
Estroncio	45.60	69.32	40.00	63.67	12.1 (2.22)
Plomo	<2	<2	<2	<2	< 2

Estas elevadas concentraciones de Manganeso y Hierro pueden ser el resultado de la alta resuspensión del sedimento durante el muestreo, lo que se manifiesta en el color rojizo-marrón de las muestras (Fotografía 9). Cabe mencionar que la solubilidad del Manganeso (y de otros metales como el Hierro) depende en gran medida del potencial redox (el cual está relacionado con la oxigenación del sedimento) y el pH (relación inversa). Si la concentración de oxígeno disminuye en el sedimento (por ejemplo, por el alto contenido de materia orgánica y en consecuencia, la alta respiración de las bacterias), ocurre la reducción de los metales pesados y el aumento de su solubilidad. La posterior oxidación en presencia de oxígeno produce hidróxido de Hierro y Manganeso. La solubilidad de Manganeso está además ligada a la presencia de coloides y materia orgánica que lo estabilizan fuertemente.



Fotografía 9. Muestras de agua/sedimento recolectadas en las estaciones de muestreo.

Comparado con los límites establecidos en la “Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas”, las concentraciones de metales pesados indican aguas de muy buena calidad, salvo Manganeseo, que por su alta concentración, indica aguas de muy mala calidad (Clase 4). Cabe mencionar que el término calidad se refiere a "Clases de calidad asociadas a la protección de las aguas continentales superficiales aptas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para los usos prioritarios ". A una similar conclusión se llega, si se comparan las concentraciones de Manganeseo, que sobrepasan los límites (800 $\mu\text{g/L}$) que son recomendados para proteger la biota acuática en British Columbia (Canada) <http://wlapwww.gov.bc.ca/wat/wq/Bcguidelines/manganese.html#recommended>). Los otros metales pesados están bajo los límites establecidos para proteger la biota. Para organismos acuáticos (algas, *Daphnia*, peces), se conoce que concentraciones aproximadas de 25-50 mg/L producen toxicidad aguda. Esos valores referenciales son más altos que los encontrados en el agua del Santuario.

Metales pesados en organismos bentónicos

Como mencionado anteriormente, no se encontró zooplancton (microcrustáceos) en la columna de agua. No está claro, si esto estuvo relacionado con una falta de alimento, con la alta turbidez del agua o con la presencia eventual de contaminantes que pudieron haber influido en forma negativa sobre estos organismos.

Con respecto a los organismos bentónicos, hay que mencionar que fue muy difícil encontrarlos en el sedimento. Solo se encontraron algunos individuos, que además eran muy pequeños (0.2-0.5 mm) y con un peso seco muy bajo (5-300 µg/Ind).. En la interfase agua/sedimento se encontraron microcrustáceos, especialmente del tipo *Cyclops* (Copepoda), por lo cual a estos organismos se los consideró como parte del bentos.

La Tabla 76 y la Fotografía 10 muestran algunos ejemplares analizados y su nivel trófico. En los niveles tróficos uno y dos, se recolectaron pocos ejemplares, mientras en el nivel tres destacaron los copépodos. La Tabla 77 muestra una síntesis de los resultados sobre el contenido de metales pesados en los organismos analizados (más detalles al respecto se encuentran tablas 79 y 80 al final de este Capítulo). En total se analizaron 50 individuos, de los cuales 36 pertenecieron a *Cyclops*. (Tabla 77). El resto de los 14 individuos estuvo representado por ocho taxa, razón por la cual la interpretación de los resultados se basa primariamente en *Cyclops*. Como esperable y conocido, se observó variación en el contenido de los metales pesados en *Cyclops* dependiendo del peso seco (ver valores mínimos y máximos). Las concentraciones de Cromo, Cobre, Zinc, Níquel y Plomo estuvieron en el rango típico de organismos provenientes de un ambiente no contaminado o muy poco contaminado (cf. Bervoets *et al.* 1994, Harrahy & Clements 1997, Eisler 2000). Con respecto al Hierro y Manganeso, llaman la atención las elevadas concentraciones de estos metales en las larvas de insectos y Arachnidae y especialmente en *Cyclops* sp., donde se alcanzaron valores

superiores a 2000 $\mu\text{g/g}$ y 150 $\mu\text{g/g}$ de peso seco para Hierro y Manganeso, respectivamente.

Tabla 76. Lista de organismos encontrados en las estaciones 1 (sector Fuerte San Luis) y 2 (sector San Martín) según su nivel trófico

sector Fuerte San Luis	sector San Martín
1 ^{er} Nivel trófico (microalgas)	
Alga (verde)	Alga (verde) Alga (Characeae)
2 ^{do} Nivel trófico (consumidores primarios)	
Larva insecto (Chironomidae)	Larva insecto (Chironomidae) Cladocera Oligochaeta
3 ^{er} Nivel trófico (consumidores secundaria)	
Arachnidae "Cyclops"	Arachnidae "Cyclops"

Solamente existen antecedentes suficientes sobre copépodos (Lago Riñihue, Lago Rapel) para permitir una evaluación de los contenidos de metales pesados en los especímenes de *Cyclops* sp. provenientes del Santuario (Tabla 78). En comparación con organismos provenientes del Lago Riñihue y del Lago Rapel (contaminado por relaves de minas), el Hierro estuvo significativamente (ANDEVA, $p < 0.05$) más concentrado en organismos provenientes del Santuario, mientras que el Manganeso estuvo significativamente más concentrado en organismos provenientes del Santuario, pero solamente en comparación con organismos provenientes del Lago Riñihue. Esto puede interpretarse como consecuencia de las elevadas concentraciones de ambos metales en el Santuario (interfase agua/sedimento).

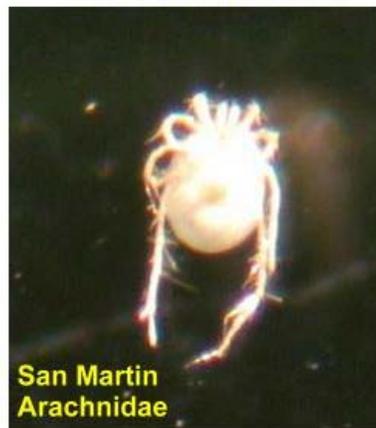
Algas



Cladocera



Arachnidae



Cyclops spec.



Fotografía 10. Diferentes organismos recolectados en el Santuario.

Tabla 77. Contenido de metales pesados en organismos bentónicos en dos estaciones del Santuario durante Diciembre del 2004. Los valores se expresan en $\mu\text{g/g}$ peso seco. En paréntesis se indica el número de muestras u organismos estudiados. P=promedio, DE= desviación estándar, Mín=valor mínimo, Máx=valor máximo.

Estación	Taxa		Peso seco (ug)	Cromo	Manganeso	Hierro	Níquel	Cobre	Zinc	Plomo
1	Alga (1)		60.8	10.2	1011	8824	32.9	24.3	116.6	n.d.
2	Alga (3)	P	10.3	6.8	559	3999	29.5	7.4	31.0	3.5
		DE	7.5	3.0	492	2898	40.3	1.7	20.7	1.1
		Mín	5.0	4.6	172	1820	6.2	5.8	12.2	2.7
		Máx	18.9	8.9	1113	7288	76.0	9.3	53.2	4.2
1	Arachnidae (1)		6.7	3.1	74	659	6.0	12.4	91.3	2.2
2	Arachnidae (3)	P	118.8	1.8	170	3308	2.6	29.0	158.9	0.9
		DE	89.9	0.1	92	1093	2.0	7.0	27.2	
		Mín	16.3	1.6	114	2053	1.4	22.5	127.9	0.9
		Máx	184.0	1.9	276	4057	5.0	36.4	178.4	0.9
1	<i>Cyclops</i> spp (30)	P	11.6	5.1	400	2718	5.6	15.8	64.4	2.0
		DE	3.6	3.0	264	995	2.5	18.0	11.7	1.4
		Mín	3.8	2.1	115	1315	2.7	8.4	49.3	0.8
		Máx	18.0	16.2	1181	5181	12.1	107.9	96.1	6.1
2	<i>Cyclops</i> spp.(30)	P	5.8	3.2	266	2151	8.6	7.7	42.2	2.5
		DE	2.6	0.7	218	908	2.5	3.0	24.8	0.9
		Mín	3.5	2.6	87	1237	4.9	2.6	9.0	1.3
		Máx	10.7	3.8	674	3391	12.5	10.2	72.6	4.0
1	Larva Insecto (3)	P	11.6	7.1	280	3880	7.0	15.4	92.2	1.5
		DE	3.6	1.1	110	957	0.6	1.6	17.1	0.3
		Mín	8.8	6.0	180	3021	6.4	13.8	79.3	1.3
		Máx	15.7	8.3	398	4911	7.6	16.9	111.5	1.7
2	Larva Insecto(1)		121	< 15	671	5240	52.1	18.3	55.9	< 15
2	<i>Cladocera</i> (1)		4.4	4.8	1454	4079	11.5	17.2	88.0	3.4
2	Oligochaeta (1)		3.5	2.8	22	742	9.4	3.4	19.9	4.3

Tabla 78. Comparación de concentración de metales pesados en *Cyclops* spp de diferentes lugares de Chile. Los valores se expresan en $\mu\text{g/g}$ peso seco y corresponden a rangos con promedios en paréntesis.

Elemento	Fuerte San Luis	San Martín	Lago Riñihue (2001)	Lago Rapel (2002)
Especie	<i>Cyclops.</i>	<i>Cyclops</i>	<i>Mesocyclops</i>	<i>Metacyclops</i>
Peso seco (μg)	3.8 - 18.0	3.5 - 10.7	13.5 - 24.8	1.7 - 16.2
Cromo	2 - 16 (8.7)	3 - 4 (3.2)	< 4	0 - 12 (7.7)
Manganeso	115 - 1180 (400)	90 - 700 (270)	25 - 45 (32)	60 - 260 (145)
Hierro	1300 - 5200 (2718)	1200 - 3400 (2100)	200 - 350 (230)	220 - 700 (290)
Níquel	3 - 12 (6)	5 - 13 (8.6)	2 - 5 (3.9)	9 - 20 (13)
Cobre	8 - 108 (16)	3 - 10 (7.7)	6 - 8 (6.4)	30 - 150 (103)
Zinc	50 - 100 (64)	9 - 73 (42)	60 - 80 (73)	40 - 150 (90)
Plomo	1 - 6 (2.0)	1 - 4 (2.5)	< 3	2 - 5 (3.4)

Los organismos estudiados poseen un tiempo de desarrollo de aproximadamente 4 a 12 semanas (especialmente las especies de ciclopoideos), lo que significa que durante este tiempo pueden acumular metales pesados, principalmente a través de la ingestión de alimento, lo que puede resultar en la incorporación de metales biodisponibles (por ejemplo, metales disueltos). En la Figura 90 se muestra el factor de bioacumulación para Hierro, Manganeso y Cobre para copepodos ciclopoideos de diferentes lugares.

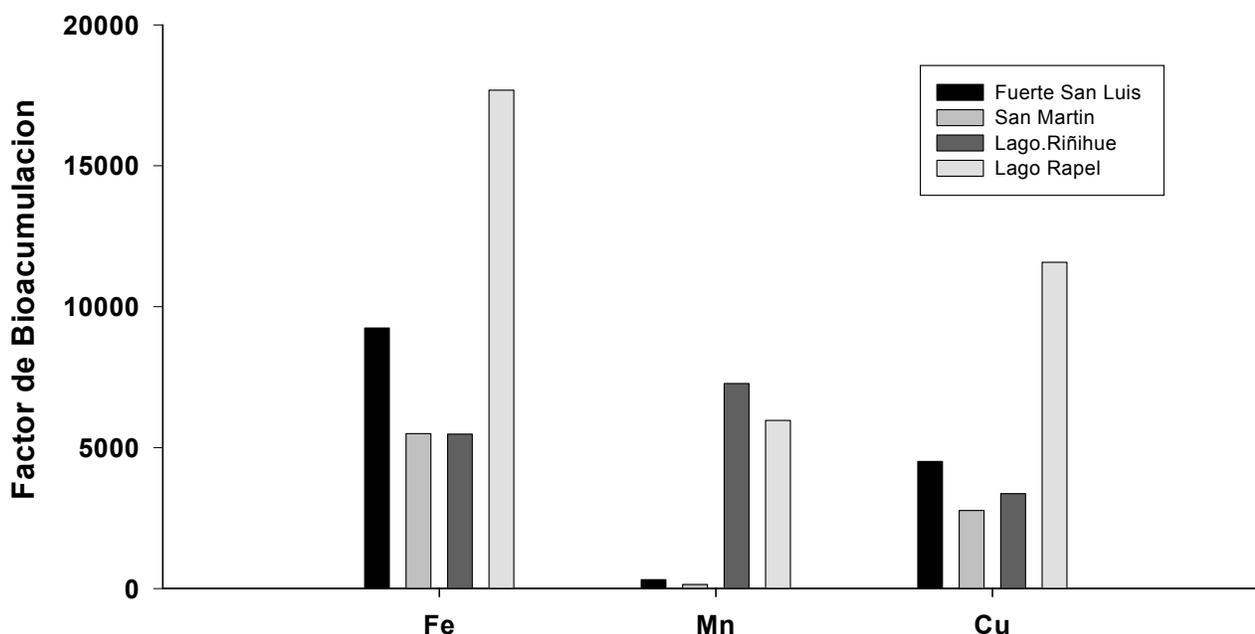


Figura 90. Factor de bioacumulación de Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Cobre (Cu) en copepodos ciclopoideos provenientes de los sectores Fuerte San Luis y San Martín, *Mesocyclops* provenientes del Lago Riñihue y *Metacyclops* del Lago Rapel.

Con excepción del Manganeso, los factores de bioacumulación fueron relativamente similares (dentro de un factor 2-3x) para los cuatro sitios en el caso de Hierro y Cobre. Para el caso del Manganeso, el factor de bioacumulación en especímenes de ciclopoideos provenientes del Santuario, fue muy inferior en comparación con el estimado para los lagos Riñihue y Rapel. Esto puede significar que

la biodisponibilidad del Manganeseo no es muy alta en el Santuario y por ende, no es bioacumulado en la misma forma (factor) que en los otros dos lagos.

8.5. Conclusiones

- i) Las concentraciones de Hierro y especialmente Manganeseo disuelto en la interfase agua/sedimento y en el agua intersticial del sedimento del Santuario, fueron elevadas.
- ii) En comparación con organismos provenientes del Lago Riñihue y del Lago Rapel (contaminado por relaves de minas), el Hierro está significativamente más concentrado en organismos provenientes del Santuario.
- iii) Solamente el Hierro muestra una buena disponibilidad, lo que se refleja en la alta bioacumulación de este metal en *Cyclops*. Aún así, es muy poco probable que las concentraciones encontradas en este organismo tengan algún efecto tóxico.

Referencias

- BERVOETS,-L.; PANIS,-I.; VERHEYEN,-R. (1994) Trace metal levels in water, sediments and Chironomus gr. thummi, from different water courses in Flanders (Belgium). Chemosphere. 29(8):1591-1601.
- EISLER, R. (2000). Handbook of chemical risk assessment: health hazards to humans, plants and animal. Vol 1 Metals, Lewis Publishers Boca Raton
- HARRAHY, E.A. & W.H. CLEMENTS (1997) Toxicity and bioaccumulation of a mixture of heavy metals in Chironomus tentans (Diptera: Chironomidae) in synthetic sediments. Environ Toxicol Chem . 16(2): 317-327.
- MIESBAUER, H., KOECK, G., AND FÜREDER, L. (2001) Determination of trace elements in macrozoobenthos samples by total-reflection X-ray fluorescence analysis. Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy. 56: 2203-2207.
- MILANI, D., REYNOLDS, T.B., BORGMANN, U., AND KOLASA, J.(2003) The relative sensitivity of four benthic invertebrates to metals in spiked-sediment exposure and application to contaminated field sediment. Environ Toxicol Chem. 22(4): 845-854.
- MAGES, M., WOELFL,S. & W.V. TUMPLING. (2001) A method for trace element determination of single Daphnia specimens using total X-ray fluorescence spectrometry. - Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy 56(11): 2209-2217
- STUMM, W. AND J.J. MORGAN (1981) Aquatic Chemistry. 2.ed., New York: John Wiley & Sons.

- WOELFL, S., MAGES, M. & F. ENCINA (2003) Cold plasma ashing improves the trace element detection of single *Daphnia* specimens by total reflection X-ray fluorescence spectrometry. - Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy 58B: 2157-2168
- WOELFL, S., MAGES, M., MERCADO, S., VILLALOBOS, L., ÓVÁRI, M., ENCINA, F. (2004) Determination of trace elements in planktonic microcrustaceans using total reflection X-ray fluorescence (TXRF): First results from two Chilean lakes. Analytical and Bioanalytical Chemistry 378: 1088-1094
- WOELFL, S., MAGES, M., ÓVÁRI, M., GELLER, W. (2004) Determination of heavy metals in macrozoobenthos (chironomid larvae) from the River Tisza by total reflection X-ray fluorescence spectrometry. 8th International Symposium on Metal Ions in Biology and Medicine, Volume 8: 330 – 333

Tabla 79. Contenido de metales pesados en organismos bentónicos recolectados en la estación 1 (sector Fuerte San Luis) del Santuario durante Diciembre del 2004. Las concentraciones de metales pesados se expresan en $\mu\text{g} / \text{g}$ peso seco. n.d. no detectado.

Especie	N°	Peso Seco (μg)	Cromo	Manganeso	Hierro	Níquel	Cobre	Zinc	Plomo
Alga	327	60.8	10.16	1011	8824	32.90	24.33	116.58	n.d.
Arachnidae	350	6.7	3.13	74	659	5.97	12.39	91.33	2.24
<i>Cyclops</i> sp.	255	14.3	2.31	420	1589	3.64	13.71	64.08	< 0.77
	400	13.5	3.04	155	2992	5.49	10.08	52.85	< 1.11
	648	13.9	3.16	370	1759	3.30	8.39	52.59	1.08
	237	9.2	3.59	463	1315	4.89	9.35	49.33	< 1.52
	460	14.1	2.69	590	3686	5.60	9.63	58.80	< 0.99
	328	4.6	5.05	160	1578	9.44	18.65	59.25	3.51
	363	10.4	7.14	832	5181	8.78	20.94	93.21	1.54
	329	5.5	9.03	1181	3734	12.10	17.69	56.50	3.61
	365	3.8	10.13	239	2084	10.66	17.32	86.61	3.73
	326	5.4	4.85	262	4076	8.21	13.80	49.99	1.87
	325	12.8	4.54	186	2063	3.60	10.18	66.84	3.21
	315	9.6	5.80	121	2740	6.32	107.88	96.07	6.11
	320	11.5	7.37	159	1732	4.69	11.28	63.16	1.39
	323	11.5	4.69	166	2965	4.08	9.28	60.65	1.04
	367	13.2	4.54	276	2100	4.01	11.34	67.08	1.29
	316	13.1	5.25	231	2837	5.03	13.93	69.90	< 0.99
	362	13.3	6.84	167	2587	3.76	15.47	80.23	0.90
	361	14.0	6.34	570	2471	4.21	9.98	61.67	0.93
	319	12.6	2.22	399	1844	4.29	9.76	63.98	1.19
	317	13.3	2.10	559	2293	4.88	11.94	65.20	1.35
	392	11.3	6.04	763	2893	4.80	10.48	65.11	1.15
	441	5.2	16.21	588	4058	9.84	14.47	57.51	3.47
	651	11.2	4.48	312	2215	7.61	11.91	60.35	0.98
	830	14.5	5.32	324	3068	4.28	10.36	69.78	1.11
	688	14.6	2.82	413	4043	4.26	10.03	56.51	n.d.
	746	13.0	2.07	918	1455	3.45	8.89	54.89	< 1.15
	224	18.0	2.39	115	2182	2.67	11.81	69.66	< 0.95
	780	17.2	3.85	245	2785	3.73	15.27	57.54	0.76

Continuación Tabla 79

Especie	N°	Peso seco (µg)	Cromo	Manganeso	Hierro	Níquel	Cobre	Zinc	Plomo
<i>Cyclops</i> sp.	212	11.3	109.63	407	4495	5.82	14.37	56.84	< 0.79
	373	15.7	7.19	180	4911	7.00	15.64	111.54	< 0.89
	372	10.2	5.99	398	3021	6.38	16.89	85.91	1.28
	336	8.8	8.25	261	3708	7.57	13.79	79.25	1.70

Tabla 80. Contenido de metales trazas en organismos bentónicos recolectados en la estación 2 (sector San Martín) del Santuario durante Diciembre del 2004. Las concentraciones de metales pesados se expresan en $\mu\text{g} / \text{g}$ peso seco. n.d. no detectado

Especie	N°	Peso seco (μg)	Cromo	Manganeso	Hierro	Níquel	Cobre	Zinc	Plomo
Alga verde	339	5.0	4.64	172	1820	75.98	9.27	27.61	4.23
	353	7.0	n.d.	393	2888	6.25	5.83	12.22	2.70
Alga (Characeae)	314	18.9	8.87	1113	7288	6.18	7.13	53.15	n.d.
Arachnidae	330	16.3	1.84	276	2053	4.96	22.54	127.87	0.86
	312	156.2	1.88	114	4057	1.50	36.44	178.35	n.d.
	368	184.0	1.64	120	3814	1.37	28.14	170.63	n.d.
<i>Cyclops</i> sp.	324	10.7	3.82	270	2019	4.94	9.22	66.41	1.30
	344	5.0	2.62	158	1495	8.67	9.67	72.55	1.81
	301	5.8	n.d.	307	3157	7.97	10.22	40.18	2.42
	334	6.0	3.69	102	1237	7.73	8.56	44.17	2.52
	342	3.9	2.58	87	1610	10.05	2.58	9.02	2.84
	341	3.5	n.d.	674	3391	12.51	5.68	20.75	3.98
Cladocera	375	4.4	4.75	1454	4079	11.54	17.19	87.99	3.39
Oligochaeta	347	3.5	2.84	21.9	742	9.38	3.41	19.89	4.26

9. Bentos de fondos sedimentarios

9.1. Antecedentes

Invertebrados bentónicos, cuyos rangos de tamaño fluctúan entre aproximadamente 5 y 20 mm, están entre los organismos más comunes de los fondos sedimentarios de ríos y estuarios. Debido a que muchos de estos invertebrados son capaces de modificar las características físicas del sustrato (vía peletización y consecuente aumento de la porosidad del sedimento), responder a cambios ambientales (como por ejemplo, enriquecimiento orgánico del fondo) y acumular tóxicos en sus tejidos corporales, son a menudo utilizados como indicadores biológicos del estado de salud ambiental de esos cuerpos acuáticos (cf. Roads & Boyer, 1982). De ahí que el conocimiento de la variabilidad espacio-temporal de estos organismos, es una de las herramientas más eficaces para evaluar cambios ambientales, ya sean estos naturales o de origen antropogénico. En este contexto, se analiza en este Capítulo, la estructura comunitaria (abundancia y riqueza de taxa) de la macroinfauna de invertebrados bentónicos que habita en los fondos sedimentarios del río Cruces, aguas arriba y dentro del Santuario.

9.2. Metodologías para la obtención de las muestras

Se realizaron tres tipos de muestreo de invertebrados de fondos sedimentarios: i) muestreo en tres localidades aguas arriba del Santuario, para una de las cuales se cuenta con datos obtenidos en muestreos anteriores (Línea Base de CELCO), ii) muestreo en el cabezal o parte superior del Santuario (en adelante, Santuario) y para cuya área también existen datos anteriores a este estudio (Línea Base de CELCO), y iii) muestreo extensivo en el área del Santuario, cauces tributarios y humedales adyacentes.

Las muestras se recolectaron el 8 de Enero y 24 de Marzo del 2005 en el sector aguas arriba, el 23 de Noviembre del 2004 y el 12 de Marzo del 2005 en el

cabezal o parte superior del Santuario y el 21 de Diciembre del 2004 durante el muestreo extensivo.

La localización de las tres estaciones de muestreo en el sector aguas arriba fue: estación 1, aproximadamente 500m aguas arriba del efluente de los riles de la planta de CELCO; estación 2, aproximadamente 50 m aguas abajo de ese efluente y estación 3, orilla norte del puente Rucaco (aproximadamente 1.5 km aguas abajo de la estación 2) (Tabla 81) (Fig. 91).

La localización de las estaciones de muestreo en el cabezal o parte superior del Santuario fue: estación 4, sector aledaño al Fuerte San Luis (entrada del Santuario); estación 5, en el sector San Martín y estación 6, en el sector Santa María (Tabla 81, Fig. 91). La Tabla 81 muestra las coordenadas de esas estaciones, a la vez que la Tabla 82 muestra las coordenadas de las 14 estaciones visitadas durante el muestreo extensivo del 21 de Diciembre del 2004 .

Tabla 91. Coordenadas en sistema sexagesimal y UTM de las estaciones donde se recolectaron muestras para el estudio de fauna bentónica sedimentaria aguas arriba del Santuario y en la cabeza o parte superior del mismo (grilla de referencia de conversión en UTM: 184 x b4533604584).

Estaciones	Sexagesimal		UTM	
estación 1	39°33'31.9''S	072°52'99.2''W	657574 E	5521948 N
estación 2	39°33'53.7''S	072°53'39.4''W	672100 E	5603631 N
estación 3	39°33'16.4''S	072°54'14.7''W	676818 E	5615030 N
estación 4	39°36'73.7''S	073°09'54.9''W	692257 E	5611894 N
estación 5	39°38'81.8''S	073°11'11.5''W	678749 E	5608267 N
estación 6	39°39'81.1''S	073°10'85.0''W	678385 E	5606446 N

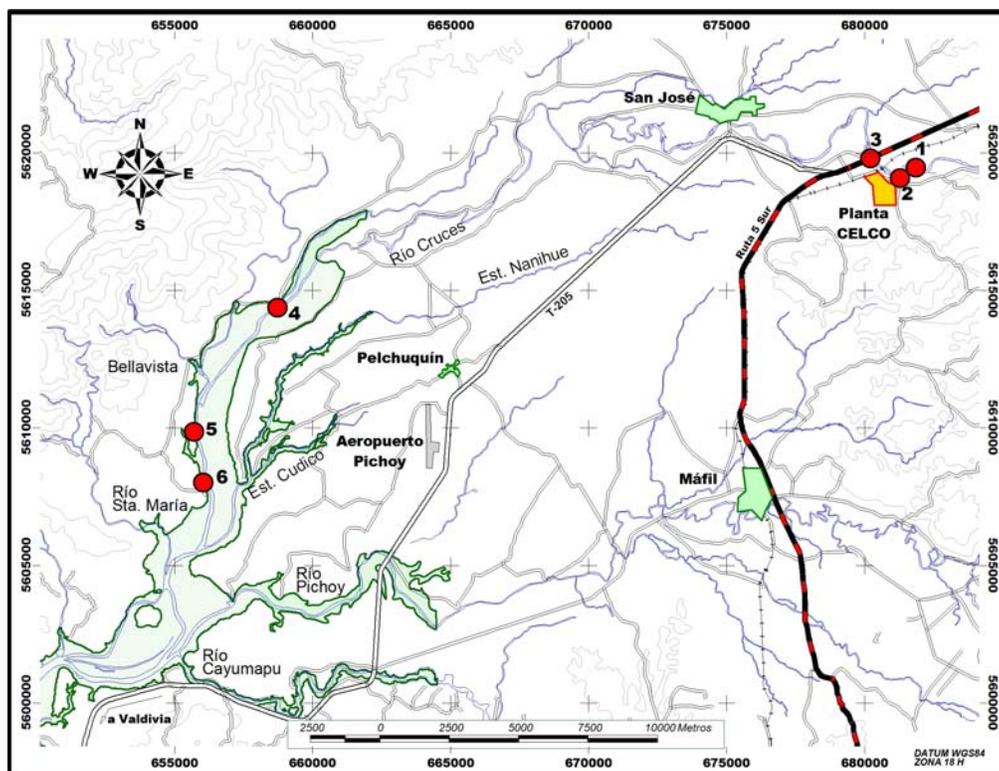


Figura 91. Ubicación de las estaciones de muestreo destinadas a caracterizar las comunidades de la bentónicas de fondos sedimentarios. El sombreado en verde indica los límites del Santuario y tributarios.

Tabla 82. Coordenadas en sistema sexagesimal y UTM de las estaciones donde se recolectaron muestras para el estudio extensivo de fauna bentónica sedimentaria a lo largo del Santuario del Río Cruces (grilla de referencia de conversión en UTM: 184 x b4533604584).

Estaciones	Sexagesimal		UTM	
estación 1	39°36'73.7''S	073°09'54.9''W	692257 E	5611894 N
estación 2	39°38'81.8''S	073°11'11.5''W	678749 E	5608267 N
estación 3	39°39'81.1''S	073°10'85.0''W	678385 E	5606446 N
estación 4	39°41'69.5''S	073°11'79.3''W	653864E	5603632 N
estación 5	39°39'82.3''S	073°09'78.1''W	656818E	5606879 N
estación 6	39°43'24.7''S	073°11'42.0''W	654706E	5601295 N
estación 7	39°43'86.8''S	073°13'48.7''W	651651E	5599441 N
estación 8	39°43'38.5''S	073°14'27.8''W	650750E	5600948 N
estación 9	39°43'29.4''S	073°14'34.6''W	650593E	5601232 N
estación 10	39°44'22.7''S	073°16'03.1''W	648454E	5599629 N
estación 11	39°45'66.1''S	073°15'59.5''W	648478E	5596440 N
estación 12	39°46'65.5''S	073°15'35.6''W	649011E	5594597 N
estación 13	39°47'73.0''S	073°15'35.3''W	648978E	5592494 N
estación 14	39°48'35.7''S	073°14'68.7''W	649597E	5591804 N

En las estaciones del sector aguas arriba (1, 2 y 3), se recolectaron cuatro réplicas en Enero y Marzo del 2005,. Las muestras se recolectaron con cilindros plásticos de 0.0086 m² de área enterrados a una profundidad aproximada de 15 cm en el sedimento. En las estaciones ubicadas en el cabezal o parte superior del Santuario (4, 5 y 6) se recolectaron cuatro y tres réplicas en Noviembre del 2004 y Marzo del 2005, respectivamente. Durante el muestreo extensivo llevado a cabo en el Santuario, cauces tributarios y humedales adyacentes se recolectaron dos réplicas en cada una de las 14 estaciones visitadas. Las muestras recolectadas en el cabezal o parte superior del Santuario, así como aquellas para el muestreo extensivo, se obtuvieron con una draga PONAR de 0.05 m² de área.

Los sedimentos recolectados se filtraron en terreno a través de mallas con abertura de 500 micrones. El residuo se conservó en formol al 10% hasta posterior análisis en el laboratorio.

9.3. Metodologías para el análisis de las muestras

El residuo proveniente de la filtración de las muestras se analizó bajo lupa binocular para identificación y recuento de la macroinfauna. La identificación de los taxa se realizó hasta el nivel taxonómico más bajo posible.

Se estimaron los valores de abundancia total, abundancia por taxa y el número total de taxa de cada estación de muestreo. Se realizaron análisis de varianza de una vía (ANDEVA) (Sokal & Rohlf, 1995) con el objetivo de evaluar eventuales diferencias en las variables estudiadas. Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se analizaron mediante las pruebas estadísticas de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett, respectivamente (Sokal & Rohlf, 1995). En los casos en los que no se cumplieron esos supuestos, se transformaron los datos mediante la expresión $\log(x+1)$ (Sokal & Rohlf, 1995). En aquellos ANDEVAS donde se detectaron diferencias significativas entre más de dos grupos de muestras, se realizó el test *a posteriori* Tukey's "HSD" ("Honestly Significant Difference"), con el objetivo de identificar la o las

entidades con características faunísticas significativamente diferentes (Sokal & Rohlf, 1995). Cuando los datos, a pesar de ser transformados, no cumplieron con los supuestos del ANDEVA, las eventuales diferencias entre grupos fueron analizadas con el test no paramétrico de Kruskal-Wallis (Sokal & Rohlf, 1995). Los análisis fueron desarrollados con el paquete estadístico Statgraphic 2.0.

Las relaciones faunísticas entre las distintas estaciones de muestreo se evaluaron mediante análisis multivariados de Escalamiento Multidimensional no Métrico (EMD) y Análisis de Similitudes (ANOSIM “ANalysis Of SIMilarities”) (Clarke, 1993). Los análisis EMD se basaron en una matriz de similitud calculada mediante el coeficiente de Bray-Curtis, previa transformación de los datos mediante doble raíz cuadrada, a fin de dar mayor peso a aquellas variables con menores valores de representación. Los resultados de los análisis de EMD se graficaron en dos dimensiones, con el objetivo de visualizar eventuales relaciones entre las estaciones de muestreo. En este tipo de gráficos, las estaciones que muestran mayor similitud aparecen menos distanciadas entre sí. La representación adecuada del agrupamiento de esas estaciones puede ser evaluada mediante el denominado “stress”. Valores de “stress” menores a 0.1 indican una buena representación del ordenamiento de las estaciones, mientras que valores de “stress” mayores de 0.2 indican lo contrario (Clarke, 1993).

Los análisis de similitud (ANOSIM) permitieron evaluar eventuales diferencias significativas entre la composición faunística (estructura comunitaria) de las distintas estaciones de muestreo. Conjuntamente con este análisis se evaluó el porcentaje de disimilitud (SIMPER “SIMilarity PERcentages-species contribution”) entre las distintas estaciones de muestreo basado en una hemimatriz de similitud calculada con el coeficiente de Bray-Curtis, previa transformación de los datos con doble raíz cuadrada.

Todos los análisis multivariados se realizaron con el programa PRIMER (“Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research”) (Carr, 1997).

9.4. Resultados

9.4.1. Situación actual

Sector aguas arriba del Santuario

La Tabla 83 muestra la abundancia de cada grupo de invertebrados bentónicos, abundancia total de los mismos y número total de taxa, en los fondos sedimentarios de aguas someras de las estaciones 1 a 3, durante Enero del 2005. El número total de taxa fue más alto en la estación 1 (14), en tanto que el número más bajo ocurrió en los fondos de la estación 3 (6). Una situación inversa se registró para la abundancia total, donde los valores más altos (8286.5 ind/m²) ocurrieron en la estación 3 y los más bajos (2247.2 ind/m²) en la estación 1 (Tabla 83, Fig. 92).

Tabla 83. Abundancia (ind / m²) de la macroinfauna bentónica de fondos sedimentarios, en las estaciones 1, 2 y 3 sector del río Cruces, aguas arriba del Santuario (Enero del 2005). Los valores son promedios (n=4) con desviación estándar en paréntesis. G=Gastropoda, B=Bivalvia e I=Isopoda.

	estación 1	estación 2	estación 3
OLIGOCHAETA			
<i>Lumbricus</i> sp.	28.1 (56.2)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Naididae	0.0 (0.0)	84.3 (168.5)	0.0 (0.0)
Tubificidae	1264.0 (1089.6)	561.8 (757.2)	4691.0 (7963.5)
MOLLUSCA			
<i>Chilina ovalis</i> (G)	0.0 (0.0)	28.1 (56.2)	28.1 (56.2)
<i>Ancylus</i> sp. (G)	28.1 (56.2)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Sphaeridae (B)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	758.4 (1150.9)
INSECTA			
<i>Araucanioperla</i> sp.	0.0 (0.0)	28.1 (56.2)	0.0 (0.0)
<i>Limnoperla</i> sp.	28.1 (56.2)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Athrixyidae	28.1 (56.2)	84.3 (168.5)	0.0 (0.0)
Baetidae	28.1 (56.2)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Ceratopogonidae	0.0 (0.0)	56.2 (64.9)	477.5 (812.2)
Chironomidae	280.9 (194.6)	5449.4 (4696.3)	2162.9 (2482.7)
Elmidae	280.9 (489.8)	337.1 (242.7)	168.5 (337.1)
Leptophlebiidae	56.2 (64.9)	140.4 (212.7)	0.0 (0.0)
Muscidae	28.1 (56.2)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Tipulidae	56.2 (64.9)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Trichoptera	56.2 (64.9)	421.3 (700.9)	0.0 (0.0)
CRUSTACEA			
<i>Heterias exul</i> (I)	28.1 (56.2)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
CHELICERATA			
Acari	56.2 (64.9)	168.5 (267.5)	0.0 (0.0)
Abundancia total	2247.2 (1581.0)	7359.6 (5323.0)	8286.5 (11976.8)
N° total de taxa	14	11	6

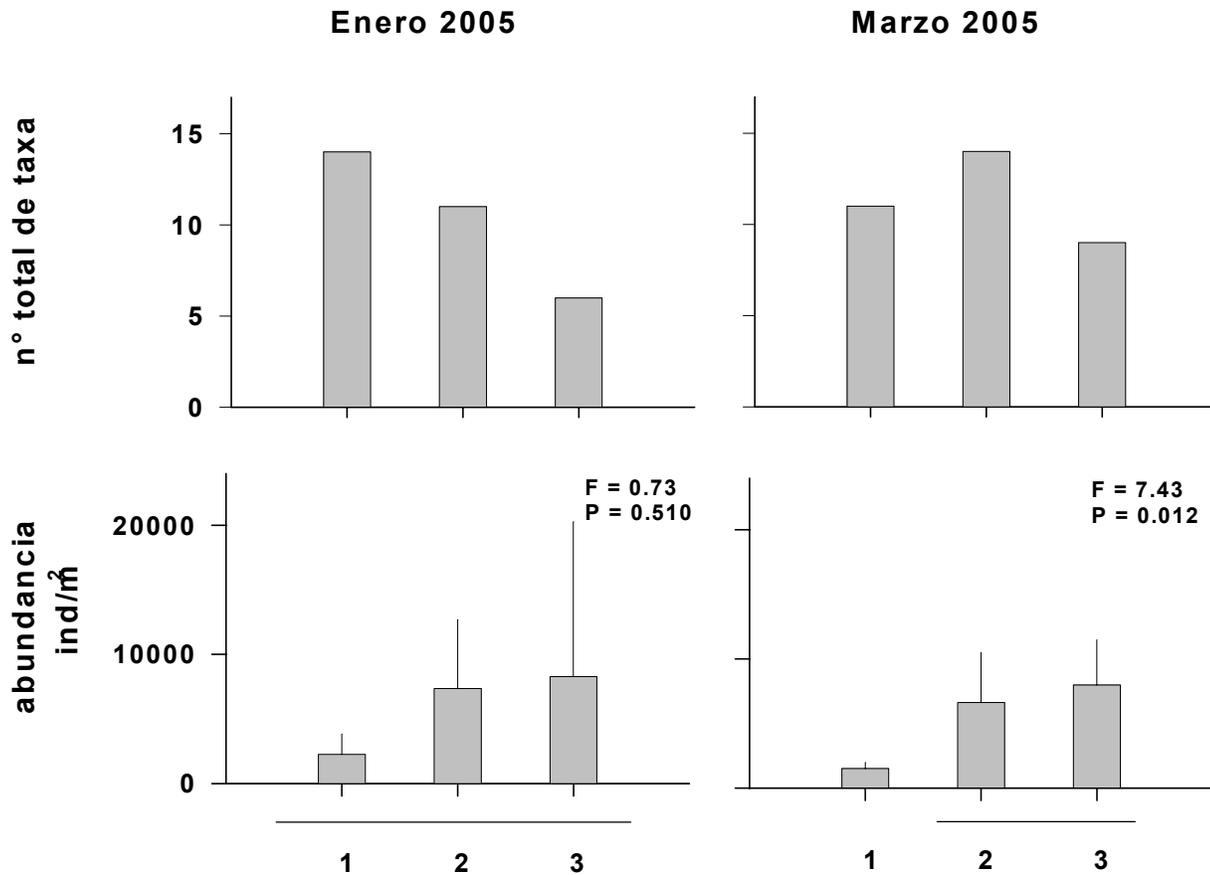


Figura 92. Número total de taxa y abundancia total de la macroinfauna de fondos sedimentarios en las estaciones 1, 2 y 3 sector del río Cruces, aguas arriba del Santuario. Los valores son promedios + 1 desviación estándar. Se entregan los valores de F y P resultantes de los análisis de varianza. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$).

Los taxa más abundantes durante Enero del 2005 fueron anélidos oligoquetos de la familia Tubificidae (estaciones 1 y 3) e insectos de la familia Chironomidae (estación 2) (Tabla 83). Los resultados de los análisis de varianza no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$) para ninguno de los grupos taxonómicos analizados (ver Figuras 92, 93 y 94). Similarmente, los análisis de similitud (ANOSIM) de la estructura comunitaria, entre las distintas estaciones no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$) (Tabla 84).

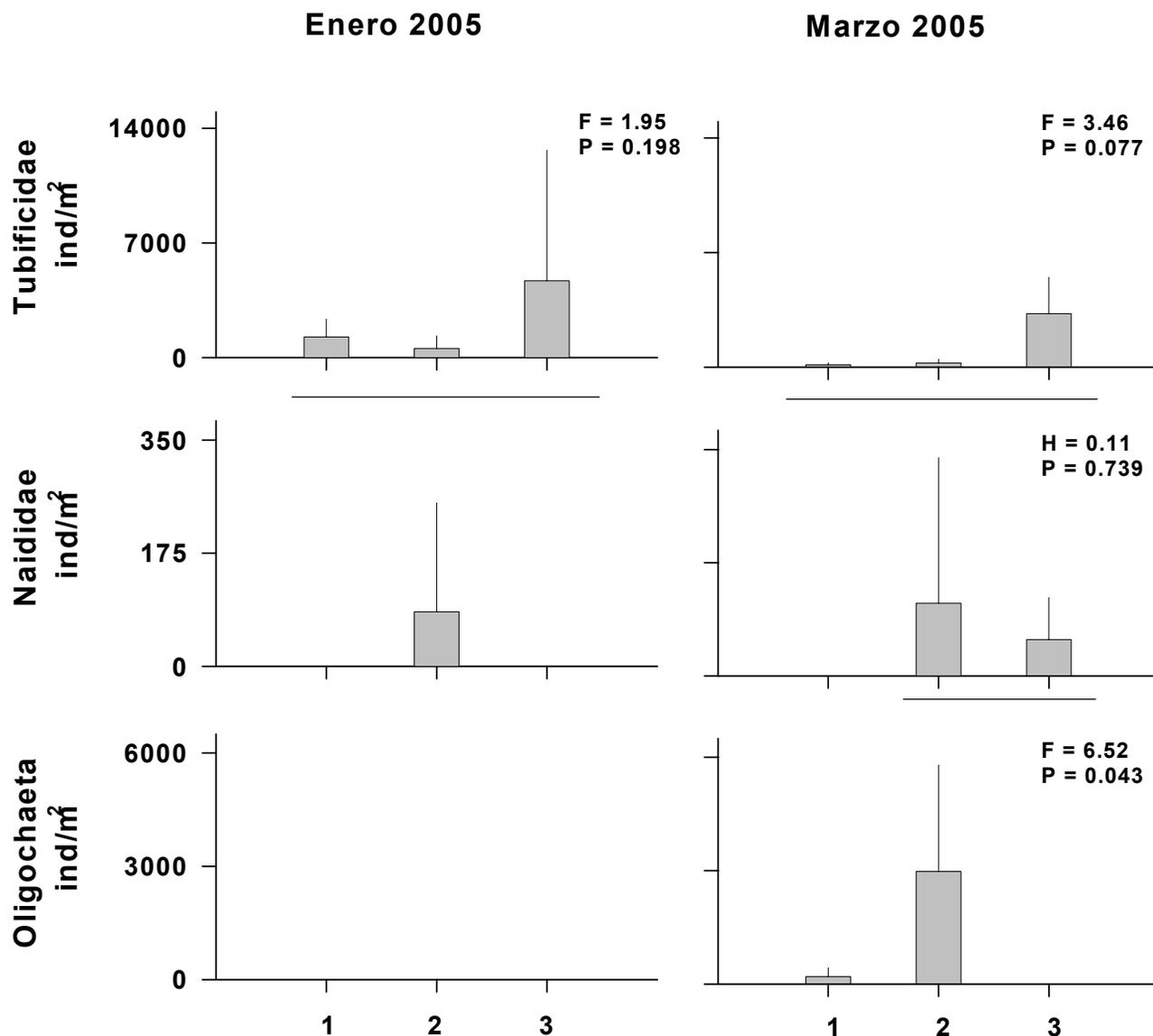


Figura 93. Abundancia de oligoquetos en los fondos sedimentarios de las estaciones 1, 2 y 3, sector del río Cruces, aguas arriba del Santuario. Los valores son promedios + 1 desviación estándar. Se entregan los valores de F, H y P resultantes de los análisis de varianza y Kruskal-Wallis. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$).

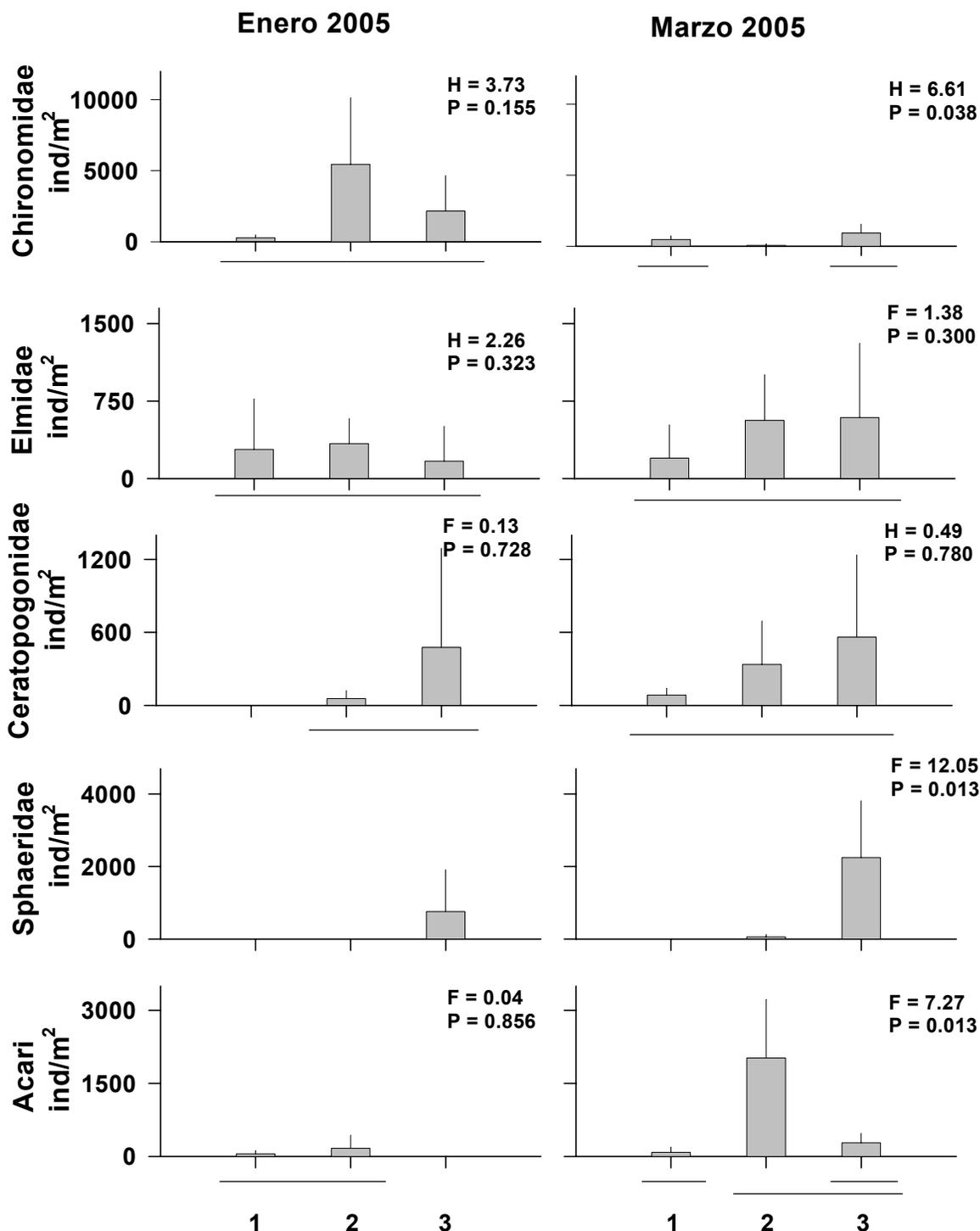


Figura 94. Abundancia de insectos (Chironomidae, Elmidae y Ceratopogonidae), moluscos (Sphaeriidae) y ácaros en los fondos sedimentarios de las estaciones 1, 2 y 3, sector del río Cruces, aguas arriba del Santuario. Los valores son promedios + 1 desviación estándar. Se entregan los valores de F, H y P resultantes de los análisis de varianza y Kruskal-Wallis. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$).

Tabla 84. Porcentajes de disimilitud (SIMPER) entre las estaciones de muestreo ubicadas aguas arriba del Santuario, durante Enero del 2005. Los resultados del test de análisis de similitud (ANOSIM) muestran que esos porcentajes no difirieron significativamente ($P > 0.05$). E1, E2 y E3 = estaciones de muestreo.

	E1	E2	E3
E1			
E2	57.14		
E3	62.45	60.60	

La Tabla 85 muestra que durante Marzo del 2005, la riqueza total de taxa fue mayor en la estación 2 (14) y menor en la estación 3 (9). Similar a lo registrado durante Enero del 2005, en la estación con menor riqueza total de taxa, se registró la mayor abundancia total de invertebrados bentónicos (7977.5 ind/m^2) (Tabla 85). Chironomidae, Oligochaeta y Tubificidae (anélidos) fueron los taxa más abundantes en las estaciones 1, 2 y 3, respectivamente (Tabla 85). Los análisis de varianza y Kruskal-Wallis mostraron que los valores de abundancia total fueron significativamente menores ($P < 0.05$) en la estación 1, en tanto que no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las estaciones 2 y 3 para esta variable (Fig. 92). La Figura 93 muestra que las abundancias de oligoquetos de las familias Tubificidae y Naididae no difirieron significativamente entre estaciones ($P > 0.05$), a la vez que las abundancias de Oligochaeta fueron significativamente más altas en la estación 2. Los insectos de la familia Chironomidae presentaron las abundancias más bajas en esta estación, sin mostrar diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las estaciones 1 y 3, a la vez que insectos de las familias Elmidae y Ceratopogonidae no difirieron significativamente entre estaciones de muestreo (Fig. 96). Las abundancias de los moluscos de la familia Sphaeridae fueron significativamente más altas ($P < 0.05$) en la estación 3. Finalmente, las abundancias de Acari fueron significativamente más altas ($P < 0.05$) en la estación 2 cuando se la compara con la 1 cuyas abundancias no difirieron de la 3 (Fig. 94).

Tabla 85. Abundancia (ind/m²) de la macroinfauna bentónica de fondos sedimentarios, en las estaciones 1, 2 y 3 sector del río Cruces, aguas arriba del Santuario (Marzo del 2005). Los valores son promedios (n = 4) con desviación estándar en paréntesis. B = Bivalvia.

	estación 1	estación 2	estación 3
OLIGOCHAETA			
<i>Lumbricus</i> sp.	28.1 (56.2)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Naididae	0.0 (0.0)	112.4 (224.7)	56.2 (64.9)
Tubificidae	140.4 (107.6)	252.8 (231.6)	3258.4 (2222.7)
Oligochaeta	196.6 (231.6)	2977.5 (2810.5)	0.0 (0.0)
HIRUDINEA			
	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	28.1 (56.2)
MOLUSCA			
<i>Diplodon chilensis</i> (B)	0.0 (0.0)	28.1 (56.2)	0.0 (0.0)
Sphaeriidae (B)	0.0 (0.0)	56.2 (64.9)	2247.2 (1565.0)
Gastropoda	56.2 (112.4)	56.2 (64.9)	0.0 (0.0)
INSECTA			
Athrixyidae	84.3 (107.6)	56.2 (64.9)	0.0 (0.0)
Ceratopogonidae	84.3 (56.2)	337.1 (355.3)	561.8 (674.2)
Chironomidae	477.5 (249.1)	56.2 (112.4)	927.0 (618.0)
Collembola	0.0 (0.0)	28.1 (56.2)	0.0 (0.0)
Elmidae	196.6 (322.7)	561.8 (440.0)	589.9 (718.7)
Hydroptilidae	28.1 (56.2)	56.2 (64.9)	0.0 (0.0)
Leptophlebiidae	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	28.1 (56.2)
Coleoptera	0.0 (0.0)	28.1 (56.2)	0.0 (0.0)
Tricoptera	140.4 (212.7)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
CHELICERATA			
Acari	84.3 (107.6)	2022.5 (1199.7)	280.9 (194.6)
Abundancia total	1516.9 (472.3)	6629.2 (3843.3)	7977.5 (3501.8)
N° total de taxa	11	14	9

La Tabla 86 muestra los resultados de los análisis de similitud (ANOSIM) donde se observa que la comunidad de invertebrados bentónicos fue significativamente diferente entre estaciones ($P < 0.05$). Los análisis de porcentaje de similitud mostraron que las taxa que más influyeron en las diferencias observadas entre la estación 1 y 2 fueron Acari y Oligochaeta con un 14.44 y 14.12 %, respectivamente. A su vez, Sphaeridae y Tubificidae fueron las taxa de mayor contribución a las diferencias entre las estaciones 1 y 3 (20.28 y 14.24 %, respectivamente). Finalmente, Oligochaeta y Sphaeridae fueron las taxa que más influyeron en las diferencias registradas entre la estación 2 y 3 (17.51 y 13.42%, respectivamente).

Tabla 86. Porcentajes de disimilitud (SIMPER) entre las estaciones de muestreo ubicadas aguas arriba del Santuario, durante Marzo del 2005. Los resultados del test de análisis de similitud (ANOSIM) muestran que esos porcentajes difirieron significativamente (valores en negrilla, $P < 0.05$). E1, E2 y E3 = estaciones de muestreo.

	E1	E2	E3
E1			
E2	57.72		
E3	59.01	57.39	

Sector del cabezal o parte superior del Santuario

La Tabla 87 muestra la abundancia de cada grupo de invertebrados bentónicos, abundancia total de los mismos y número total de taxa, en los fondos sedimentarios submareales de las estaciones 4 a 6, durante Noviembre del 2004 y Marzo del 2005.

Tabla 87. Abundancia (ind/m²) de la macroinfauna bentónica de fondos sedimentarios del Santuario en sectores aledaños al Fuerte San Luis (estación 4), San Martín (estación 5) y Santa María (estación 6). (Noviembre del 2004 y Marzo del 2005). Los valores son promedios (n=4 para Noviembre y n=3 para Marzo) con desviación estándar en paréntesis. B=Bivalvia.

Noviembre 2004	estación 4	estación 5	estación 6
POLYCHAETA			
<i>Perinereis gualpensis</i>	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	11.1 (22.2)
<i>Boccardia</i> sp.	0.0 (0.0)	11.1 (22.2)	44.4 (62.8)
OLIGOCHAETA			
Naididae	0.0 (0.0)	122.2 (215.8)	0.0 (0.0)
Tubificidae	734.4 (395.7)	510.0 (441.7)	100.0 (66.7)
MOLLUSCA			
Sphaeridae (B)	11.1 (22.2)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
INSECTA			
Chironomidae	639.6 (877.9)	77.8 (66.7)	11.1 (22.2)
Hydroptilidae	0.0 (0.0)	22.2 (44.5)	22.2 (44.5)
Trichoptera	156.5 (211.3)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
CHELICERATA			
Acari	156.5 (284.1)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Abundancia total	1697.9 (1518.8)	743.3 (632.6)	188.8 (66.7)
N° total de taxa	5	5	5
<hr/>			
Marzo 2005	estación 4	estación 5	estación 6
POLYCHAETA			
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	37.5 (64.9)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
OLIGOCHAETA			
Tubificidae	636.7 (343.3)	749.1 (506.7)	711.6 (425.4)
INSECTA			
Chironomidae	412.0 (531.0)	74.9 (64.9)	0.0 (0.0)
Zigoptera	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	37.5 (64.9)
Abundancia total	1086.1 (233.9)	824.0 (454.1)	749.1 (361.2)
N° total de taxa	3	2	2

Durante Noviembre del 2004, el número total de taxa fue igual en las tres estaciones de muestreo (5), en tanto que la abundancia total fue mayor en la estación 4 y menor en la estación 6 (1697.9 y 188.8 ind/m², respectivamente) (Tabla 87). Oligoquetos de la familia Tubificidae, fueron el taxon con mayor representación numérica en las tres estaciones: 734.4, 510.0 y 100.0 ind/m² en las estaciones 4, 5 y 6, respectivamente.

Durante Marzo del 2005, el número total de taxa fue mayor en la estación 4 (3), en tanto que en las estaciones 5 y 6 se registraron 2 taxa (Tabla 87). Durante este muestreo, las abundancias totales de invertebrados bentónicos no mostraron mayor variabilidad entre estaciones (promedios de 749.1-1086.1 ind/m²). Oligoquetos de la familia Tubificidae fueron los invertebrados más abundantes en las tres estaciones de muestreo (Tabla 87).

Los resultados de los análisis de varianza y Kruskal-Wallis, mostraron que durante Noviembre del 2004, las abundancias de oligoquetos Tubificidae fueron significativamente más altas ($P < 0.05$) en las estaciones 4 y 5, cuyas abundancias no difirieron significativamente entre sí ($P > 0.05$) (Fig. 95). A su vez, las abundancias de Chironomidae no difirieron significativamente entre estaciones de muestreo ($P > 0.05$) (Fig. 95).

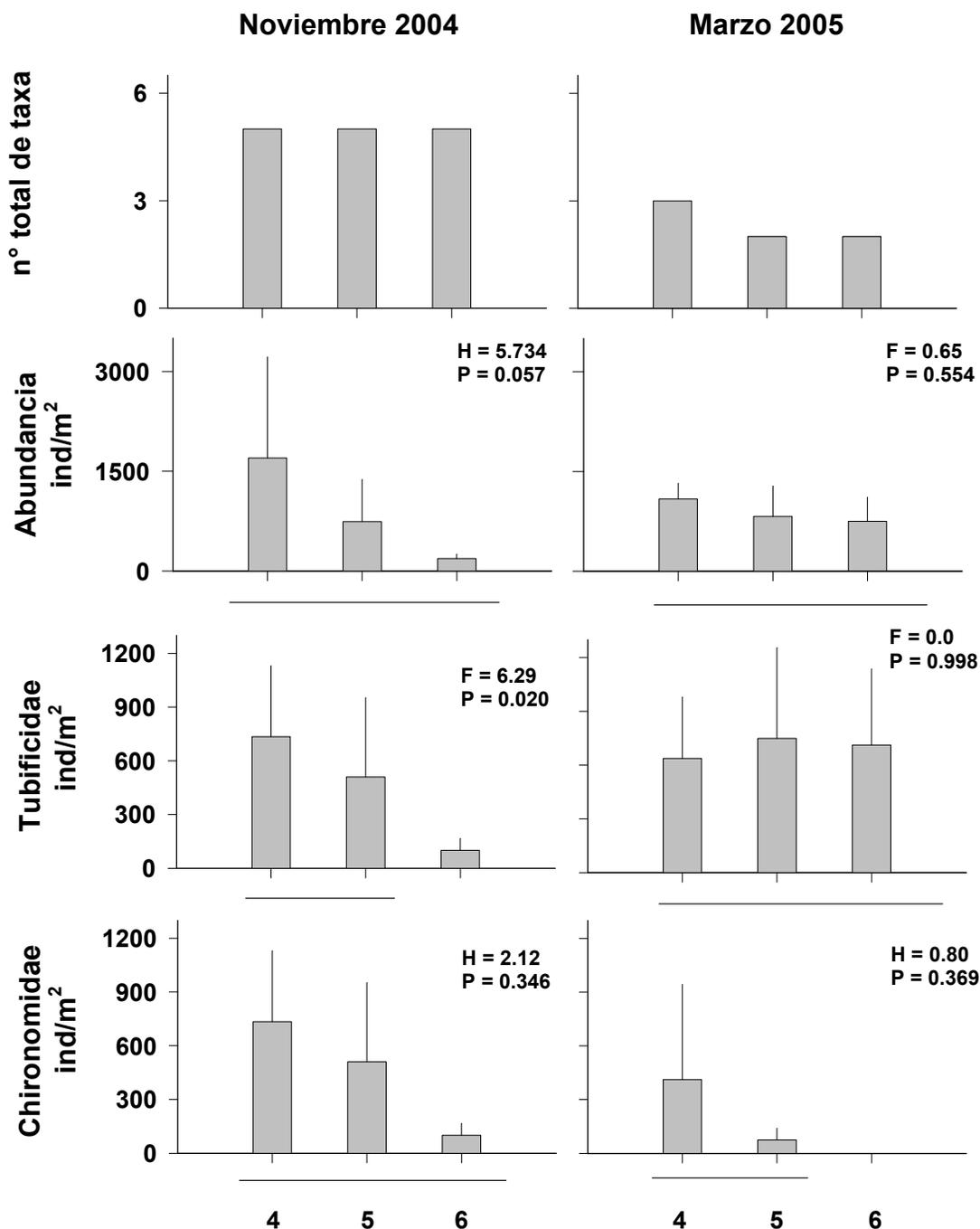


Figura 95. Número total de taxa, abundancia total de la macroinfauna y abundancia de oligoquetos (Tubificidae) e insectos (Chironomidae) en las estaciones 4, 5 y 6, sector fuerte San Luis, San Martín y Santa María del Santuario. Los valores son promedios + 1 desviación estándar. Se entregan los valores de H, F y P resultantes de los análisis de varianza y Kruskal-Wallis. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$).

Durante Marzo del 2005, no se registraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los atributos comunitarios estudiados (Fig. 95). Los resultados de los análisis de similitud (ANOSIM) que se presentan en la Tabla 88 para Noviembre del 2004, muestran que la estructura comunitaria de la estación 4 fue significativamente distinta a la de las estaciones 5 y 6, las cuales no registraron diferencias significativas en su composición faunística entre sí. Los taxa que más aportaron a las diferencias registradas entre la estación 4 y 5 fueron los insectos de las familias Chironomidae y Trichoptera con 23.76 y 21.40 %, respectivamente. Estos mismos invertebrados fueron los que presentaron mayor influencia en las diferencias registradas entre las estaciones 4 y 6 (20.80 y 19.75 % para Trichoptera y Chironomidae, respectivamente). Durante Marzo del 2005, la estructura de la comunidad no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las distintas estaciones de muestreo (Tabla 89).

Tabla 10. Porcentajes de disimilitud (SIMPER) entre las estaciones de muestreo ubicadas en el cabezal o parte superior del Santuario, durante Noviembre del 2004. Los resultados del test de análisis de similitud (ANOSIM) muestran que esos porcentajes difirieron significativamente (valores en negrilla, $P < 0.05$) al comparar las estaciones 4 vs. 5 y 4 vs. 6. E4, E5 y E6=estaciones de muestreo.

	E4	E5	E6
E4			
E5	53.70		
E6	63.95	51.57	

Tabla 11. Porcentajes de disimilitud (SIMPER) entre las estaciones de muestreo ubicadas en el cabezal o parte superior del Santuario, durante Marzo del 2005. Los resultados del test de análisis de similitud (ANOSIM) muestran que esos porcentajes no difirieron significativamente ($P > 0.05$). E4, E5 y E6=estaciones de muestreo.

	E4	E5	E6
E4			
E5	26.67		
E6	37.03	30.14	

Sector Santuario, tributarios y humedales adyacentes

La Tabla 90 muestra la abundancia de cada grupo de invertebrados bentónicos, abundancia total de los mismos y número total de taxa, en los fondos sedimentarios submareales del Santuario, tributarios y humedales adyacentes (muestreo de Enero del 2005). El número más alto de taxa (8) se registró en los sectores de Punucapa (estación 11) y Cabo Blanco (estación 12), en tanto que el más bajo (2) ocurrió en el Estero Tambillo (estación 9) (Tabla 90). Los valores más altos de abundancia total se registraron en Cabo Blanco (estación 12) y los más bajos en Cayumapu (estación 6) (6022.2 y 244.4 ind/m², respectivamente). Los invertebrados numéricamente dominante en todas las estaciones de muestreo fueron oligoquetos de la familia Tubificidae (Tabla 90).

Tabla 90. Abundancia (ind / m²) en los fondos sedimentarios del Santuario de la Naturaleza y humedales adyacentes. Los valores son promedios (n=2) con la desviación estándar en parentesis. G=Gastropoda y B=Bivalvia.

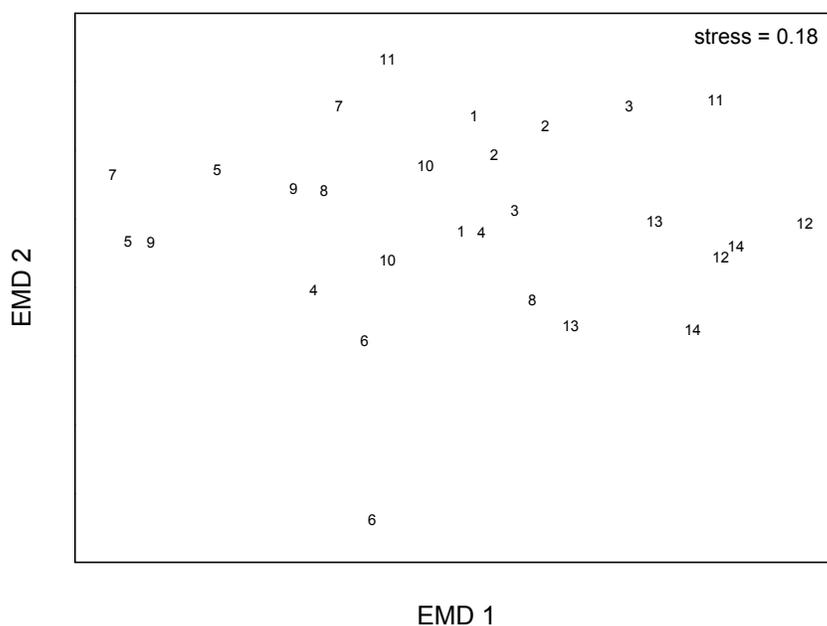
	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Estación 6	Estación 7
POLYCHAETA							
<i>Perinereis gualpensis</i>	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
HIRUDINEA	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
OLIGOCHAETA							
<i>Nais pardales</i>	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Naididae	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Tubificidae	444.4 (62.9)	1044.4 (157.1)	711.1 (440.0)	466.7 (31.4)	288.9 (157.1)	111.1 (157.1)	511.1 (471.4)
TURBELARIA	0.0 (0.0)	22.2 (31.4)	44.4 (62.9)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	88.9 (125.7)
MOLLUSCA							
<i>Biomphalaria chilensis</i> (G)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
<i>Chilina ovalis</i> (G)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
<i>Ancylus</i> sp. (G)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
<i>Littoridina</i> sp. (G)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Sphaeridae (B)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	22.2 (31.4)	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
INSECTA							
Chironomidae	66.7 (31.4)	511.1 (94.3)	155.6 (31.4)	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Hydroptilidae	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	44.4 (0.0)	177.8 (125.7)	0.0 (0.0)	88.9 (0.0)	0.0 (0.0)
Collembola	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	22.2 (31.4)
Trichoptera	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Zigoptera	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
CHELICERATA							
Acari	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	44.4 (62.9)	0.0 (0.0)
Abundancia total	555.6 (31.4)	1577.8 (94.3)	1022.2 (314.3)	688.9 (157.1)	333.3 (157.1)	244.4 (220.0)	622.2 (565.7)
N° taxa total	4	3	7	4	3	3	3

Continuación Tabla 90

	Estación 8	Estación 9	Estación 10	Estación 11	Estación 12	Estación 13	Estación 14
POLYCHAETA							
<i>Perinereis gualpensis</i>	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	88.9 (62.9)	44.4 (62.9)	333.3 (157.1)
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	111.1 (157.1)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	177.8 (62.9)	200.0 (94.3)	444.4 (62.9)
HIRUDINEA	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
OLIGOCHAETA							
<i>Nais pardales</i>	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Naididae	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	66.7 (94.3)	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Tubificidae	1755.6 (848.5)	400.0 (251.4)	911.1 (220.0)	1488.9 (974.2)	3688.9 (2262.7)	1666.7 (1602.8)	2311.1 (1697.1)
TURBELARIA	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	488.9 (628.5)	800.0 (1131.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
MOLLUSCA							
<i>Biomphalaria chilensis</i> (G)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
<i>Chilina ovalis</i> (G)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	111.1 (157.1)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
<i>Ancylus</i> sp. (G)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
<i>Littoridina</i> sp. (G)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)
Sphaeridae (B)	0.0 (0.0)	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
INSECTA							
Chironomidae	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	22.2 (31.4)	44.4 (62.9)	311.1 (188.6)	44.4 (62.9)	200.0 (282.8)
Hydroptilidae	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	44.4 (62.9)	66.7 (94.3)	888.9 (1068.5)	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)
Collembola	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Trichoptera	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Zigoptera	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	22.2 (31.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
CHELICERATA							
Acari	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	44.4 (62.9)	0.0 (0.0)	44.4 (62.9)
Abundancia total	1888.9 (1037.1)	422.2 (220.0)	977.8 (251.4)	2311.1 (62.9)	6022.2 (220.0)	2000.0 (1634.2)	3333.3 (2137.0)
N° taxa total	3	2	3	8	8	6	5

La Figura 20 muestra el ordenamiento de las 14 estaciones de muestreo en base a las características faunísticas de las mismas. Se observa que en general, las réplicas no forman grupos discretos, sino un grupo homogéneo, con excepción de las réplicas de las estaciones 12, 13 y 14 (Cabo Blanco, centro del canal mareal Cau-Cau e inicio del canal mareal Cau-Cau, respectivamente) las cuales debido a su ubicación espacial pueden ser afectadas por condiciones físicas (estuario de los ríos Valdivia y Calle-Calle) y biológicas distintas a las de la parte central del Santuario.

macroinfauna bentónica Santuario de la Naturaleza, Enero del 2005



- 1 Fuerte San Luis
- 2 San Martín
- 3 Fundo Santa María
- 4 Estero Santa María
- 5 San Antonio
- 6 Cayumapu
- 7 Estero Chorocamayo
- 8 Tres Bocas
- 9 Estero Tambillo
- 10 Estero San Ramón
- 11 Punucapa
- 12 Cabo Blanco
- 13 Canal Cau-Cau (zona central)
- 14 Canal Cau-Cau (entrada)

Figura 96. Agrupamiento de muestras (réplicas) según la composición y abundancia de los invertebrados bentónicos en el Santuario y humedales adyacentes durante Diciembre del 2004.

9.4.2. Comparaciones históricas

Para evaluar la variación temporal de largo plazo en las características faunísticas de los fondos sedimentarios, estudiados aguas arriba del Santuario y en el cabezal o parte superior del mismo, se compararon los datos de este estudio con datos provenientes de muestreos realizados como parte de la Línea Base de CELCO. Las estaciones para las cuales se pudo realizar este análisis fueron las estaciones 3 (Rucaco), 4 (sector Fuerte San Luis) y 5 (sector San Martín). Para lo anterior se utilizaron las metodologías de análisis de datos señaladas anteriormente.

Para la estación 3 se trabajó con datos de Julio y Diciembre de 1995 (Línea Base de CELCO) y Enero y Marzo del 2005 (este estudio); para la estación 4 se utilizaron los datos de Julio y Diciembre de 1995, Noviembre del 2004 y Marzo del 2005 (este estudio), a la vez que para la estación 5 se utilizaron datos de Diciembre de 1995, Noviembre del 2004 y Marzo del 2005.

Sector aguas arriba del Santuario

La Tabla 91 muestra la abundancia de cada grupo de invertebrados bentónicos, abundancia total de los mismos y número total de taxa, en los fondos sedimentarios de aguas someras de la estación 3 (Rucaco) durante los muestreos de Julio y Diciembre de 1995 y de Enero y Marzo del 2005. El número más alto de taxa se registró durante Marzo del 2005 (9), en tanto que la menor riqueza de taxa ocurrió durante Enero del 2005 (6). Los valores más altos de abundancia total de invertebrados bentónicos se registraron durante Diciembre de 1995 (23086 ind/m²); durante los otros muestreos las abundancias totales fueron similares (Tabla 4). Los taxa con mayor representación numérica fueron insectos de la familia Chironomidae durante Julio y Diciembre de 1995 (7327.6 y 11784.5 ind/m², respectivamente) y oligoquetos de la familia Tubificidae durante Diciembre de 1995 y Enero del 2005 (9637.9 y 4691.0 ind/m², respectivamente).

Tabla 91. Comparación de la abundancia (ind/m²) de la macroinfauna bentónica de fondos sedimentarios en el sector Puente Rucaco (estación 3). Los valores son promedios (n=5 para Julio y Diciembre de 1995 y n=4 para Enero y Marzo del 2005) con desviación estándar en paréntesis. Los valores de abundancia de Julio y Diciembre de 1995 corresponden a la estación 3 del Estudio de Impacto Ambiental de CELCO. G=Gastropoda, B=Bivalvia, I=Isopoda.

	Julio 95	Diciembre 95	Enero 05	Marzo 05
OLIGOCHAETA				
<i>Nais pardalis</i>	551.7 (726.0)	51.7 (93.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Naididae	301.7(510.0)	1344.8 (2558.7)	0.0 (0.0)	56.2 (64.9)
Tubificidae	112.1 (227.3)	9637.9 (7277.69)	4691.0 (7384.1)	3258.4 (2222.7)
MOLLUSCA				
<i>Biomphalaria chilensis</i> (G)	8.6 (19.3)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
<i>Chilina ovalis</i> (G)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	28.1 (56.2)	0.0 (0.0)
<i>Gundlachya gayana</i> (G)	51.7 (56.2)	8.6 (19.3)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Sphaeriidae (B)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	758.4 (1150.9)	2247.2 (1565.0)
INSECTA				
Ceratopogonidae	155.2 (280.3)	163.8 (366.3)	477.5 (812.2)	561.8 (674.2)
Chironomidae	7327.6 (6770.9)	11784.5 (16948.7)	2162.9 (2482.7)	927.0 (618.0)
Elmidae	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	168.5 (337.1)	589.9 (718.7)
Leptophlebiidae	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	28.1 (56.2)
CRUSTACEA				
<i>Heterias exul</i> (I)	8.6 (19.3)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
CHELICERATA				
Acari	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	280.9 (194.6)
Aracnidae	0.0 (0.0)	94.8 (188.9)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Abundancia total	8517.2 (6564.4)	23086.2 (26130.4)	8286.5 (11976.8)	7977.5 (3501.8)
N° total de taxa	8	7	6	9

Los resultados de los análisis de varianza y Kruskal-Wallis, sólo mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la variabilidad temporal de los oligoquetos de la familia Tubificidae; i.e. fueron significativamente más bajas ($P < 0.05$) durante Julio de 1995, no observándose diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las demás fechas de muestreos (Fig. 6). Para el resto de variables analizadas, no se registraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las distintas fechas de muestreo (Fig. 97, 98 y 99).

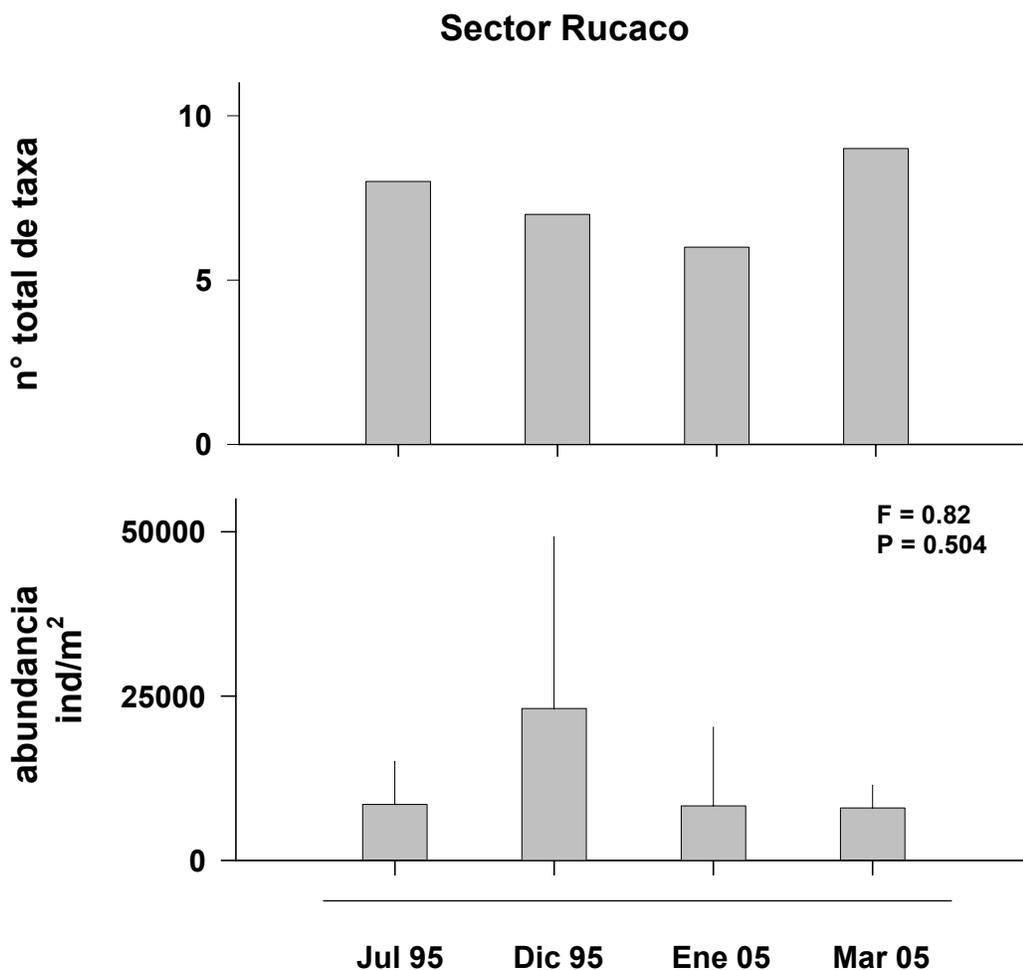


Figura 97. Número total de taxa y abundancia total de la macroinfauna de fondos sedimentarios de la estación 3 (Rucaco) durante Julio y Diciembre de 1995, Enero y Marzo del 2005. Los valores son promedios + 1 desviación estándar. Se entregan los valores de F y P resultantes de los análisis de varianza. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$).

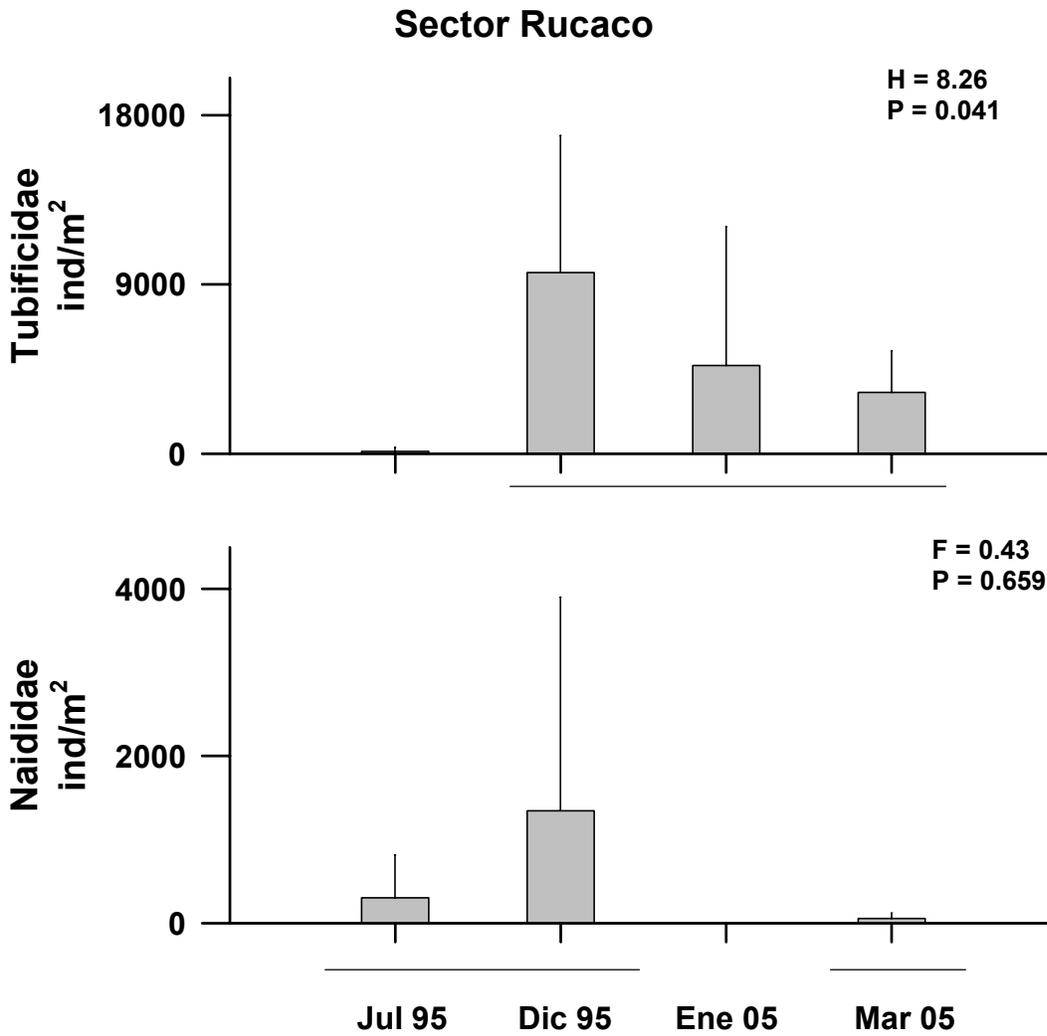


Figura 98. Abundancia de Oligoquetos de fondos sedimentarios de la estación 3 (Rucaco) durante Julio y Diciembre de 1995, Enero y Marzo del 2005. Los valores son promedios + 1 desviación estándar. Se entregan los valores de F, H y P resultantes de los análisis de varianza y Kruskal-Wallis. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$).

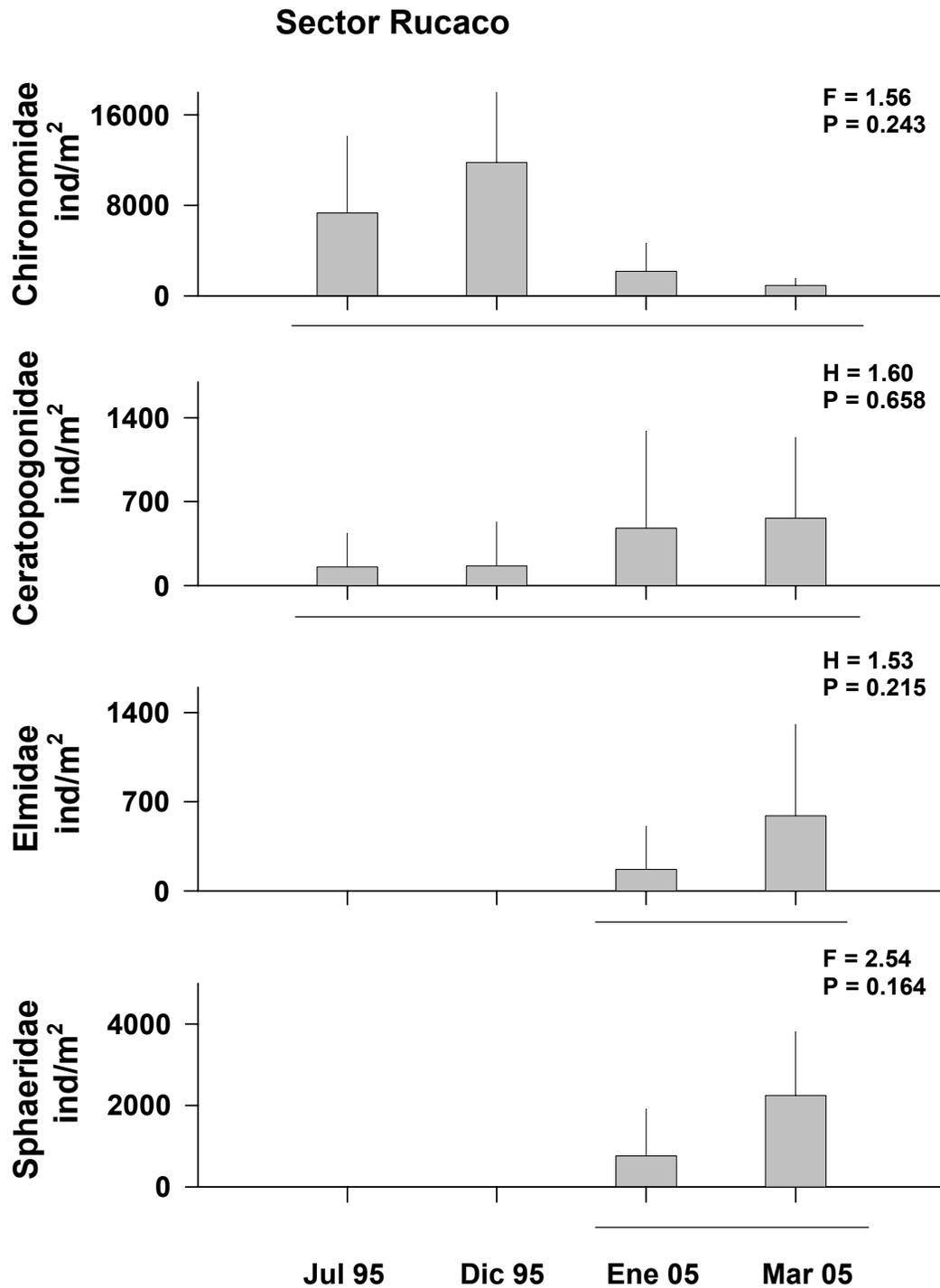


Figura 99. Abundancia de Insectos (Chironomidae, Ceratopogonidae y Elmidae) y moluscos (Sphaeriidae) de fondos sedimentarios de la estación 3 (Rucaco) durante Julio y Diciembre de 1995, Enero y Marzo del 2005. Los valores son promedios + 1 desviación estándar. Se entregan los valores de F, H y P resultantes de los análisis de varianza y Kruskal-Wallis. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$).

La Figura 100 muestra los resultados del análisis de ordenamiento de los datos recolectados temporalmente en la estación 3 (Rucaco). En general se observa que las réplicas correspondientes al muestreo de Julio de 1995 se separan del resto de las réplicas, principalmente Enero y Marzo del 2005 (Fig. 100).

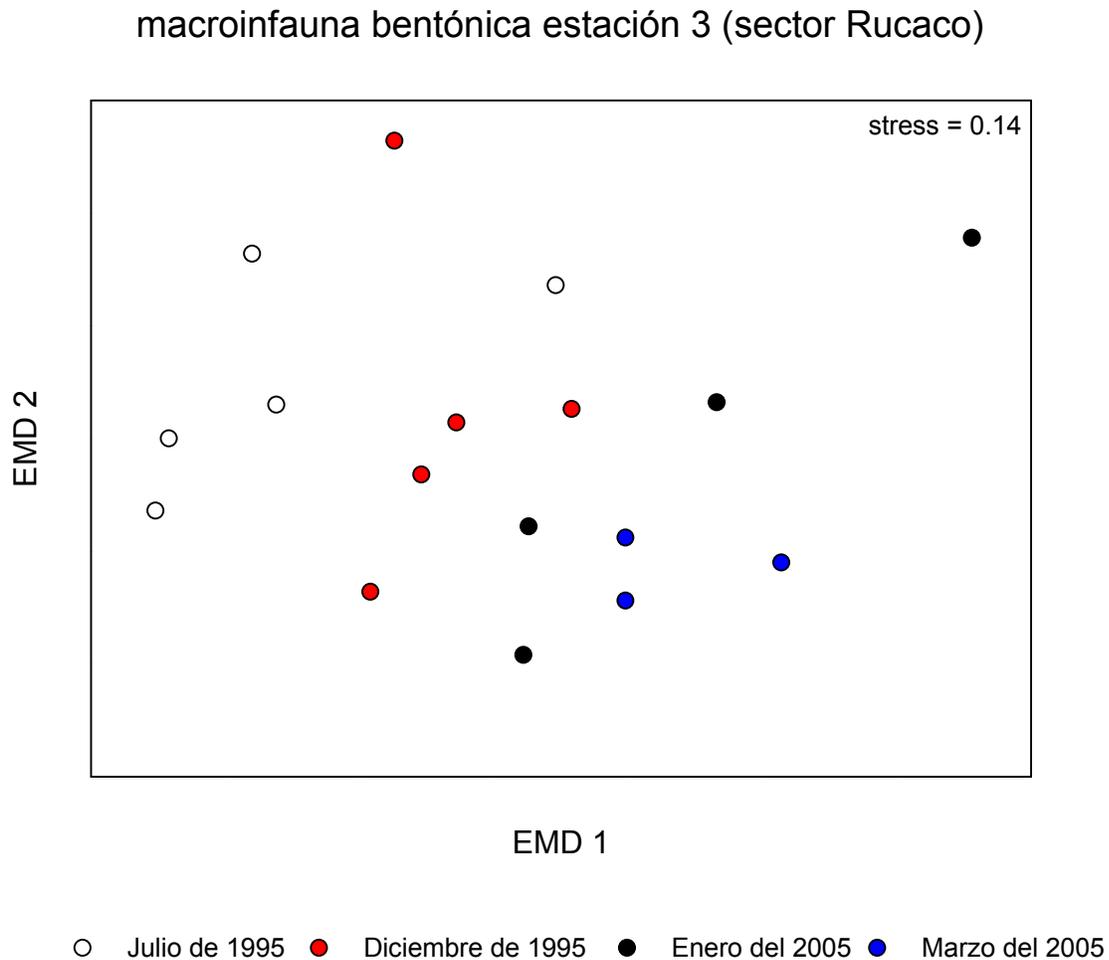


Figura 100. Agrupamiento de muestras (réplicas) según la composición y abundancia de los invertebrados bentónicos en la estación 3 (Rucaco), durante los muestreos de Julio y Diciembre de 1995 y Enero y Marzo del 2005.

Los resultados de los análisis de similitud (ANOSIM) que se presentan en la Tabla 92, confirman los resultados del análisis de ordenamiento ya mencionado. Se observa en esa Tabla que la estructura comunitaria de Julio de 1995 difirió significativamente de la de Enero y Marzo del 2005 (68.06 y 69.72 % de disimilitud, respectivamente). Los taxa que más aportaron a la disimilitud entre Julio de 1995 y Enero del 2005 fueron insectos de la familia Chironomidae (21.01%) y oligoquetos de la familia Tubificidae (19.97%), en tanto que moluscos de la familia Sphaeridae y oligoquetos de la familia Tubificidae fueron los taxa que más influyeron en la disimilitud entre Julio de 1995 y Marzo del 2005 (17.48 y 16.59 %, respectivamente).

Tabla 92. Porcentajes de disimilitud (SIMPER) entre las diferentes fechas de muestreo de la estación 3 (Rucaco). Los resultados del test de análisis de similitud (ANOSIM) muestran que esos porcentajes difirieron significativamente (valores en negrilla, $P < 0.05$) al comparar los muestreos de Julio de 1995 vs. Enero y Marzo del 2005.

	Julio 1995	Diciembre 1995	Enero 2005	Marzo 2005
Julio 1995				
Diciembre 1995	51.43			
Enero 2005	68.06	58.57		
Marzo 2005	69.72	54.90	46.69	

Sector del cabezal o parte superior del Santuario

La Tabla 93 muestra la abundancia de cada grupo de invertebrados bentónicos, abundancia total de los mismos y número total de taxa, en los fondos sedimentarios submareales de la estación 4 (sector adyacente al Fuerte San Luis), durante los muestreos de Julio y Diciembre de 1995, Noviembre del 2004 y Marzo del 2005. Durante Diciembre de 1995 se registró el número total más alto de taxa (8), en tanto que durante Marzo del 2005 ocurrió la menor riqueza de taxa (3). Los valores más altos y más bajos de abundancia total de invertebrados bentónicos se registraron durante Julio de 1995 y Marzo del 2005 (5000.0 y 1086.1 ind/m², respectivamente)

(Tabla 93). Oligoquetos de la familia Tubificidae e insectos Chironomidae fueron los invertebrados con mayor representación numérica durante todas las fechas de muestreo (Tabla 93).

Tabla 93. Comparación de la abundancia (ind/m²) de la macroinfauna bentónica de fondos sedimentarios del Santuario aledaños al sector Fuerte San Luis (estación 4). Los valores son promedios (n=5 para Julio y Diciembre de 1995, n=4 para Noviembre del 2004 y n=3 para Marzo del 2005) con desviación estándar en paréntesis. Los valores de abundancia de Julio y Diciembre de 1995 corresponden a la estación 6 del Estudio de Impacto Ambiental de CELCO. G=Gastropoda y B=Bivalvia.

	Julio 95	Diciembre 95	Noviembre 04	Marzo 05
POLYCHAETA				
<i>Prionospio (M) patagonica</i>	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	37.45 (64.9)
OLIGOCHAETA				
<i>Nais pardalis</i>	94.8 (98.3)	17.2 (38.6)	0.0 (0.0)	0.00 (0.0)
Naididae	577.6 (372.8)	155.2 (280.3)	0.0 (0.0)	0.00 (0.0)
Tubificidae	3060.3 (1955.2)	1603.4 (955.3)	734.4 (395.7)	636.70 (343.3)
MOLLUSCA				
<i>Biomphalaria chilensis</i> (G)	8.6 (19.3)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Sphaeriidae (B)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	11.1 (22.2)	0.0 (0.0)
INSECTA				
Chironomidae	1258.6 (1107.1)	724.1 (961.6)	639.6 (877.9)	412.0 (531.0)
Collembola	0.0 (0.0)	8.6 (19.3)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Elmidae	0.0 (0.0)	86.2 (192.8)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Hydrptilidae	0.0 (0.0)	172.4 (361.9)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Trichoptera	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	156.5 (211.3)	0.0 (0.0)
CHELICERATA				
Acari	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	156.5 (284.1)	0.0 (0.0)
Aracnidae	0.0 (0.0)	8.6 (19.3)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Abundancia total	5000.0 (1986.0)	2775.9 (1615.3)	1697.9 (1518.8)	1086.1 (233.9)
N° total de taxa	5	8	5	3

Los resultados de los análisis de varianza realizados para evaluar las eventuales diferencias en las variables estudiadas entre las distintas fechas de muestreo, se muestran en la Figura 101. Se observa que los valores de abundancia total estimados durante Julio de 1995 fueron significativamente más altos ($P < 0.05$) que los registrados durante Noviembre del 2004 y Marzo del 2005, y no difirieron significativamente ($P > 0.05$) de los estimados para Diciembre de 1995. A su vez, los valores de abundancia total de Diciembre de 1995, Noviembre del 2004 y Marzo del 2005 no presentaron diferencias significativas entre sí ($P > 0.05$) (Fig. 101). Para el resto de variables analizadas, no se registraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las distintas fechas de muestreo (Fig. 101).

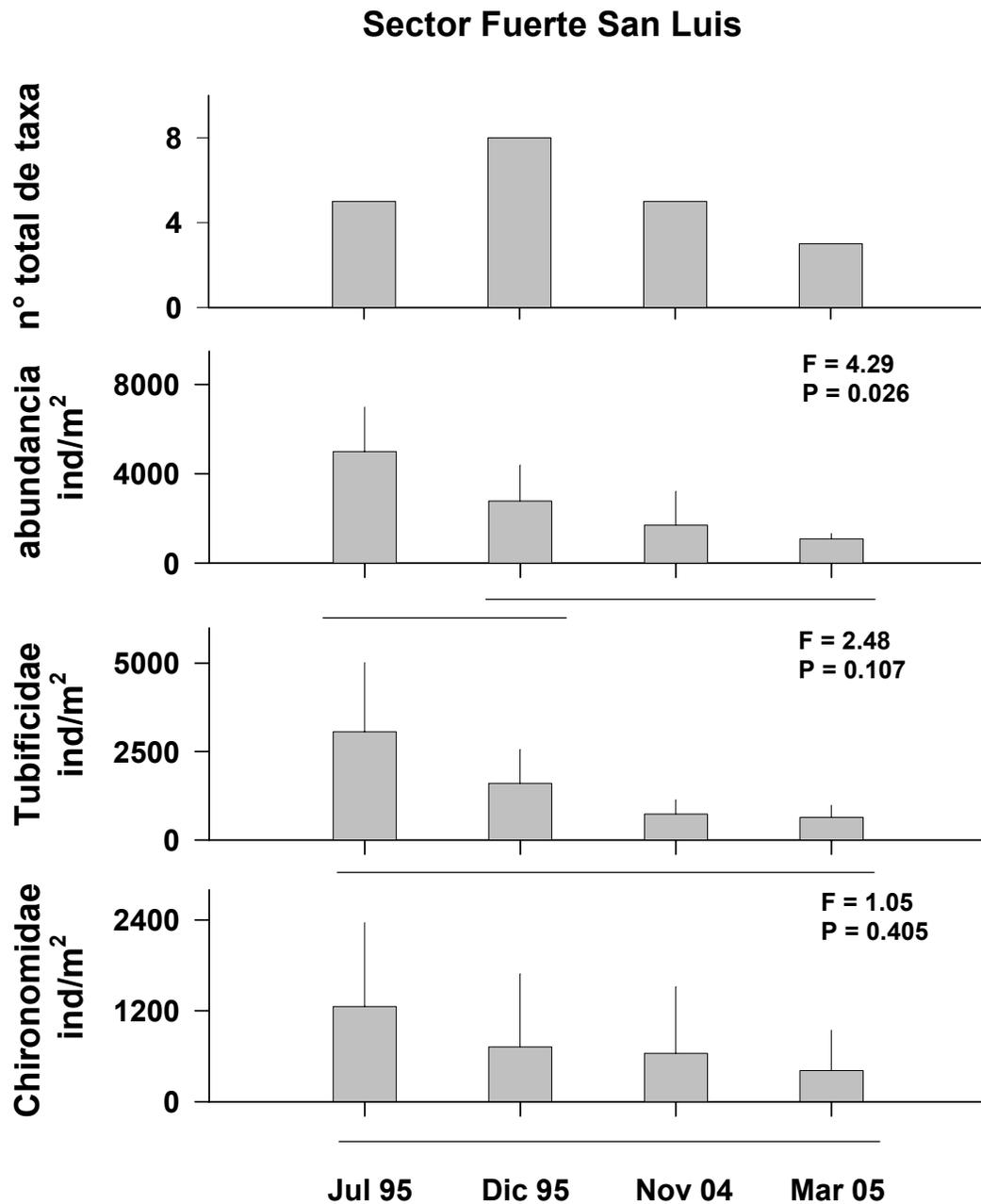


Figura 101. Número total de taxa, abundancia total de la macroinfauna y abundancia de oligoquetos (Tubificidae) e insectos (Chironomidae) de fondos sedimentarios de la estación 4 (San Luis) durante Julio y Diciembre de 1995, Noviembre del 2004 y Marzo del 2005. Los valores son promedios + 1 desviación estándar. Se entregan los valores de F y P resultantes de los análisis de varianza. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$).

Los resultados del análisis de ordenamiento para las diferentes fechas de muestreo en la estación 4 (sector fuerte San Luis) se muestran en la Figura 102. Similar a lo observado en la estación 3 (Rucaco), las réplicas de Julio de 1995 formaron en general un grupo más separado de las réplicas del resto de fechas de muestreo, las que a su vez presentaron en general una distribución más similar entre ellas, reflejando una mayor similitud en la composición taxonómica de las mismas.

macroinfauna bentónica, estación 4 (sector Fuerte San Luis)

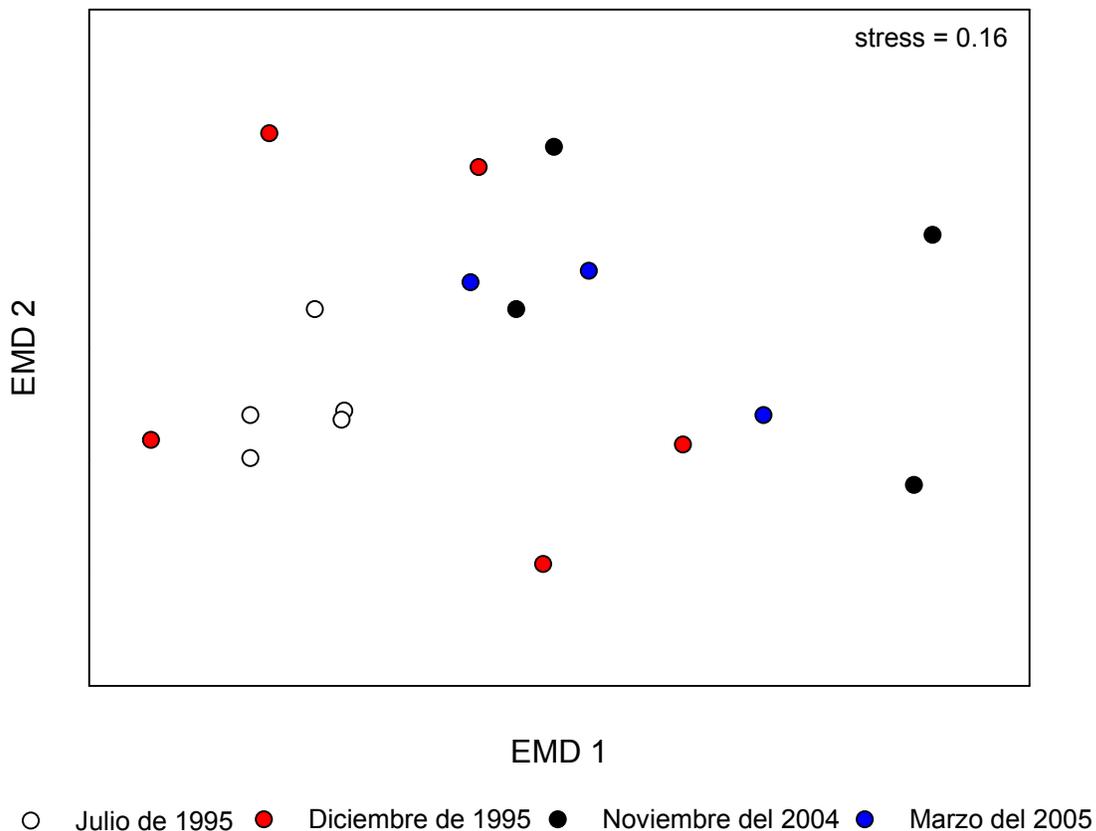


Figura 102. Agrupamiento de muestras (réplicas) según la composición y abundancia de los invertebrados bentónicos en la estación 4 (Fuerte San Luis) durante los muestreos de Julio y Diciembre de 1995, Noviembre del 2004 y Marzo del 2005.

Confirmando lo señalado anteriormente, los resultados de los análisis de similitud (ANOSIM) muestran que la estructura comunitaria de Julio de 1995 fue significativamente distinta ($P < 0.05$) de la de Noviembre del 2004 y Marzo del 2005 (69.52 y 67.80 % de disimilitud, respectivamente) (Tabla 94). Los taxa que más aportaron a la disimilitud entre Julio de 1995 y Noviembre del 2004, fueron oligoquetos de la familia Tubificidae (49.94 %) e insectos de la familia Chironomidae (23.76 %). Estos mismos taxa fueron los que más influyeron en la disimilitud registrada entre Julio de 1995 y Marzo del 2005 (54.07 y 23.38 % respectivamente).

Tabla 94. Porcentajes de disimilitud (SIMPER) entre las diferentes fechas de muestreo de la estación 4 (sector Fuerte San Luis). Los resultados del test de análisis de similitud (ANOSIM) muestran que esos porcentajes difirieron significativamente (valores en negrilla, $P < 0.05$) al comparar los muestreos de Julio de 1995 vs. Noviembre del 2004 y Marzo del 2005.

	Julio 1995	Diciembre 1995	Noviembre 2004	Marzo 2005
Julio 1995				
Diciembre 1995	41.24			
Noviembre 2004	55.38	55.29		
Marzo 2005	45.42	45.46	45.28	

La Tabla 95 muestra la abundancia de cada grupo de invertebrados bentónicos, abundancia total de los mismos y número total de taxa, en los fondos sedimentarios submareales adyacentes al sector San Martín, durante los muestreos de Diciembre de 1995, Noviembre del 2004 y Marzo del 2005. El valor más alto en el número total de taxa se registró durante Diciembre de 1995 (6) y el más bajo durante Marzo del 2005 (2). El valor más alto de abundancia total de invertebrados bentónicos se registró durante Diciembre del 2005 y el más bajo durante Noviembre del 2004 (1250.0 y 743.3 ind/m², respectivamente) (Tabla 95). Oligoquetos de la familia Naididae fueron los invertebrados más abundantes durante Diciembre de 1995 (569.0 ind/m²), en tanto que oligoquetos de la familia Tubificidae fueron los taxa numéricamente más importantes durante Noviembre del 2004 y Marzo del 2005 (510.0 y 749.1 ind/m², respectivamente).

Tabla 95. Comparación de la abundancia (ind/m²) de la macroinfauna bentónica de fondos sedimentarios del Santuario aledaños al sector San Martín (estación 5). Los valores son promedios (n=5 para Diciembre de 1995 y n=4 para Noviembre del 2004 y n=3 para Marzo del 2005) con desviación estándar en paréntesis. Los valores de abundancia de Diciembre de 1995 corresponden a la estación 7 del Estudio de Impacto Ambiental de CELCO.

	Diciembre 95	Noviembre 04	Marzo 05
POLYCHAETA			
<i>Boccardia</i> sp.	0.0 (0.0)	11.1 (22.2)	0.0 (0.0)
OLIGOCHAETA			
<i>Nais pardalis</i>	189.7 (189.4)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Naididae	569.0 (562.3)	122.2 (215.8)	0.0 (0.0)
Tubificidae	137.9 (111.6)	510.0 (441.7)	749.1 (506.7)
INSECTA			
Ceratopogonidae	8.6 (19.3)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Chironomidae	336.2 (207.6)	77.8 (66.7)	74.9(64.9)
Elmidae	8.6 (19.3)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
Hydroptilidae	0.0 (0.0)	22.2 (44.5)	0.0 (0.0)
Abundancia total	1250.0 (503.6)	743.3 (632.7)	824.0 (454.1)
N° total de taxa	6	5	2

Los resultados de los análisis de varianza mostraron que ninguna de las variables analizadas presentó diferencias significativas entre las distintas fechas de muestreo (Fig. 103).

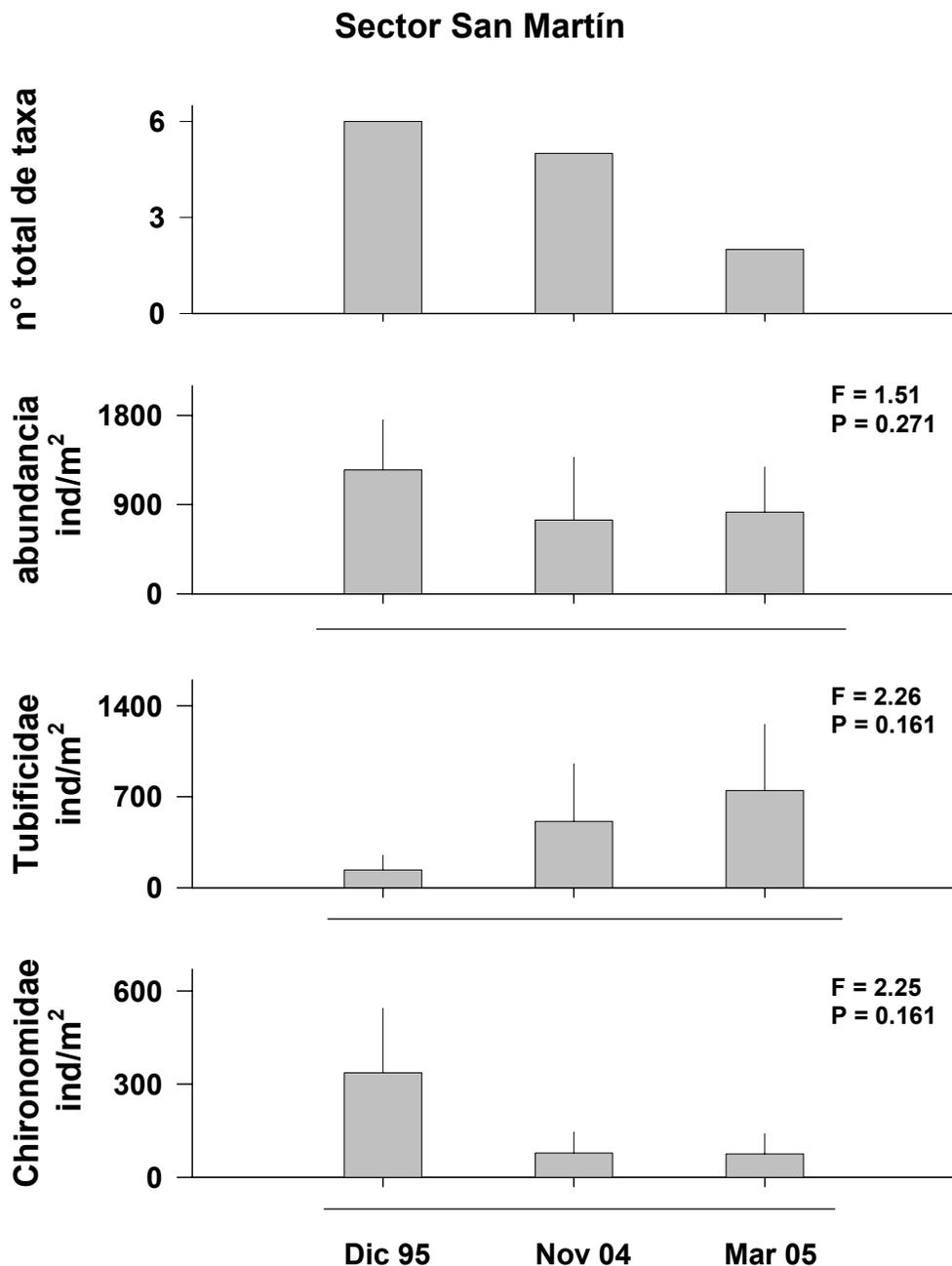


Figura 103. Número total de taxa, abundancia total de la macroinfauna y abundancia de oligoquetos (Tubificidae) e insectos (Chironomidae) de fondos sedimentarios de la estación 5 (San Martín) durante Diciembre de 1995, Noviembre del 2004 y Marzo del 2005. Los valores son promedios + 1 desviación estándar. Se entregan los valores de F y P resultantes de los análisis de varianza. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$).

La Figura 104 muestra el ordenamiento de las réplicas de las diferentes fechas de muestreo en la estación 5 (sector San Martín). En general las réplicas de Diciembre de 1995 forman un grupo separado de las réplicas de Noviembre del 2004 y Marzo del 2005, las que su a vez mostraron una mayor similitud en su distribución espacial.

macroinfauna bentónica, estación 5 (sector San Martín)

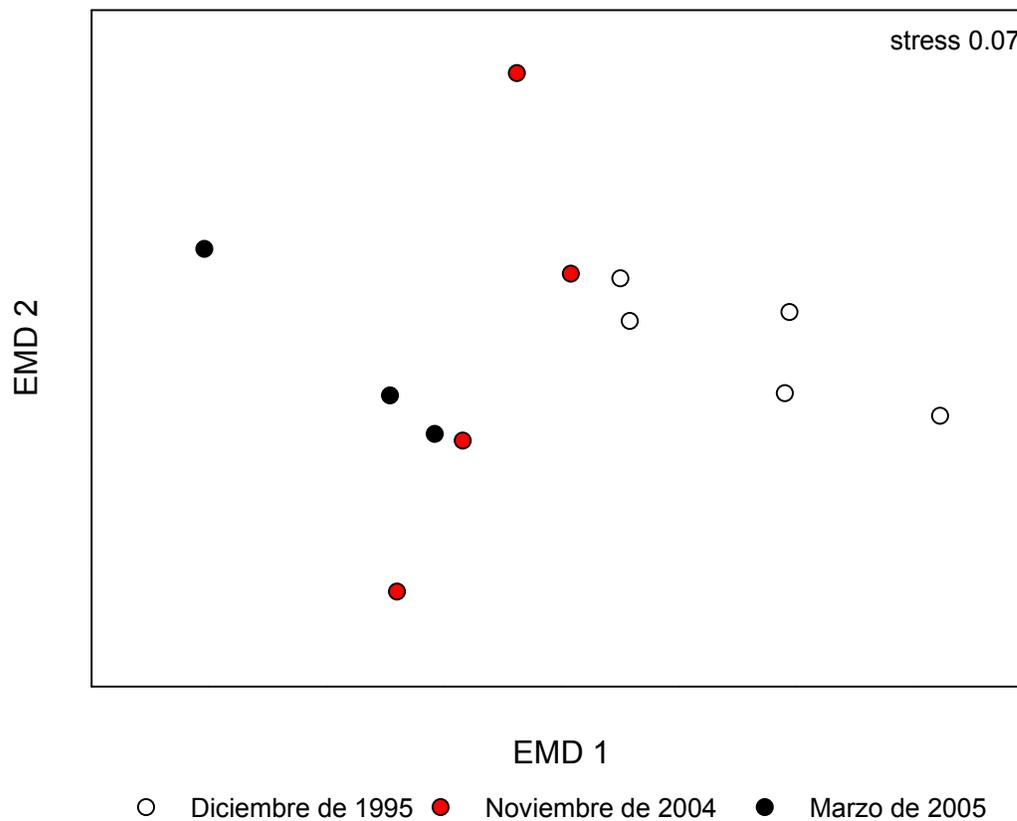


Figura 104. Agrupamiento de muestras (réplicas) según la composición y abundancia de los invertebrados bentónicos en la estación 5 (sector San Martín) durante los muestreos de Diciembre de 1995, Noviembre del 2004 y Marzo del 2005.

Los resultados de los análisis de similitud (ANOSIM) muestran que la estructura comunitaria de Diciembre de 1995 fue significativamente distinta ($P < 0.05$) a la de Noviembre del 2004 y Marzo del 2005 (45.82 y 55.48 % de disimilitud, respectivamente) confirmando los resultados de la ordenación mostrada anteriormente (Tabla 96). Los taxa que más influyeron en la disimilitud registrada entre Diciembre de 1995 y Noviembre del 2004 fueron oligoquetos de la familia Naididae y la especie *Nais pardalis* (26.64 y 21.30 %, respectivamente), en tanto que oligoquetos de las familias Naididae y Tubificidae fueron los taxa que más aportaron a la disimilitud registrada entre Diciembre de 1995 y Marzo del 2005 (36.73 y 19.46 %, respectivamente).

Tabla 96. Porcentajes de disimilitud (SIMPER) entre las diferentes fechas de muestreo de la estación 5 (sector San Martín). Los resultados del test de análisis de similitud (ANOSIM) muestran que esos porcentajes difirieron significativamente (valores en negrilla, $P < 0.05$) al comparar los muestreos de Diciembre de 1995 vs. Noviembre del 2004 y Marzo del 2005.

	Diciembre 1995	Noviembre 2004	Marzo 2005
Diciembre 1995			
Noviembre 2004	45.82		
Marzo 2005	55.48	34.35	

9.5. Conclusiones

- i) La fauna de los fondos sedimentarios del río Cruces, incluyendo el sector aguas arriba del Santuario, cabezal o parte superior del mismo y cauces tributarios, esta compuesta por invertebrados bentónicos, dominados por anélidos oligoquetos e insectos anfibios.
- ii) Los valores de riqueza de taxa y abundancias de esos invertebrados bentónicos, fueron similares a los encontrados en estudios similares llevados a cabo con anterioridad en áreas estuariales de Valdivia alejadas del río Cruces. Esto demuestra que la fauna bentónica del Santuario y cauces tributarios, no se ha visto afectada por las condiciones ambientales, a las cuales a estado sometido el humedal del río Cruces durante el último tiempo.
- iii) En general, los análisis de varianza y Kruskal-Wallis mostraron que las abundancias totales, así como las abundancias por taxa de invertebrados bentónicos, no presentaron diferencias significativas al comparar estaciones de muestreo dentro de un mismo sector (e.g. aguas arriba o cabezal del santuario), o al analizar los datos de una misma estación en diferentes períodos de muestreo (variabilidad temporal). Sin embargo, los resultados de los análisis de similitud (ANOSIM), mostraron que la composición faunística entre estaciones (durante Marzo del 2005 en el sector aguas arriba del santuario y durante Noviembre del 2004, en el cabezal del mismo), así como entre fechas dentro de una misma estación fue distinta. Oligoquetos e insectos fueron los principales taxa que influyeron en las diferencias registradas entre estaciones. Primariamente, las diferencias temporales se registraron entre las muestras recolectadas en invierno (i.e. Julio de 1995) con aquellas recolectadas en primavera-verano (i.e. Noviembre del 2004, Enero y Marzo del 2005). Lo anterior sugiere que los cambios temporales pueden ser sólo el resultado de

variaciones estacionales. En general, esas variaciones estuvieron influenciadas por la abundancia de oligoquetos.

- iv) La tendencia de la variabilidad temporal, de las características comunitarias de los invertebrados bentónicos de fondos sedimentarios, de los sectores aguas arriba del Santuario y cabezal del mismo, muestra que en algunos casos estas incrementan con el tiempo (e.g. insectos Ceratopogonidae en la estación 3 y oligoquetos Tubificidae en la estación 5) y en otros disminuyen (e.g. abundancias de Tubificidae y Chironomidae en las estaciones 3 y 4, respectivamente y de estos últimos insectos en la estación 5), lo que demuestra que no hay una tendencia definida en esa variabilidad.
- v) El estudio extensivo realizado en Diciembre del 2004, muestra que la composición faunística de los invertebrados bentónicos que habitan los fondos sedimentarios del Santuario y cauces tributarios, fue en general similar entre sí y con aquellos que habitan sedimentos ubicados fuera del mismo (i.e. estación ubicada al inicio canal mareal Cau-Cau) y dominada por oligoquetos de la familia Tubificidae.
- vi) Debido a la importante variabilidad natural que estos invertebrados presentan, y que puede estar relacionada entre otros factores a por ejemplo, variabilidad interanual en los pulsos de reclutamiento de nuevos individuos a la población, se hace imprescindible contar con muestreos periódicos de largo plazo a fin de poder separar la variabilidad ligada a aspectos de la propia historia natural de los organismos, de la eventual respuesta de los mismos a alteraciones antropogénicas del medio.

Referencias

CARR MR (1997) Primer user manual. Plymouth Marine Laboratory, Prospect Place, Plymouth PL1 3 DH, United Kingdom 40 pp.

CLARKE KR (1993) Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18:117-143.

SOKAL R. & F ROHLF (1995) *Biometry. the principles and practice of statistics in biological research.* W.H. Freeman, New York 877 pp.

RHOADS DC & LF BOYER (1982) The effects of marine benthos on physical properties of sediments: a successional perspective. In McCall, P.L. y Tevesz, M.J.S. (Eds). *Animal-sediment Relations: The biogenic alteration of sediments.* Plenum Press, New York. pp 3-52.

10. Comportamiento biogeoquímico del bentos de fondos sedimentarios

10.1. Antecedentes

Los eventos ecológicos y geológicos (biogeoquímica), que ocurren en la columna de agua tienen el potencial de quedar registrados en los sedimentos del fondo de estos cuerpos de agua. La persistencia temporal, así como la magnitud del cambio ecológico/geológico determinará su potencial de registro.

Por la naturaleza multidimensional de la interfase agua-sedimento (ancho, largo, profundidad y tiempo), los cambios de regímenes hidrológicos, así como la cantidad y calidad de material entrante, pueden ser caracterizados por su magnitud y ser definidos en el tiempo (geocronología).

En este capítulo, se analizan los sedimentos recolectados en cinco estaciones desde el punto de vista biogeoquímico, composición y calidad de los sedimentos (inorgánicos) en función de la presencia de metales pesados totales y se parametriza temporalmente la columna de sedimento.

10.2. Metodologías para la obtención de las muestras

Se recolectaron cinco testigos de sedimentos (23 de Noviembre del 2004) en cinco sitios del Santuario localizados entre los sectores cercanos al Fuerte San Luis (estación 1) y Chorocamayo (estación 5) (Fig. 105). Los testigos tuvieron una profundidad de 20-24 centímetros. La selección de los sitios de muestreo fué dirigida y basada en las características hidrodinámicas del humedal; es decir, se eligieron lugares de depositación. La lógica fue que los ambientes de menor movimiento de agua tienen mayor probabilidad de registrar los eventos ecológicos (naturales/antrópicos) ocurrientes en la columna de agua.

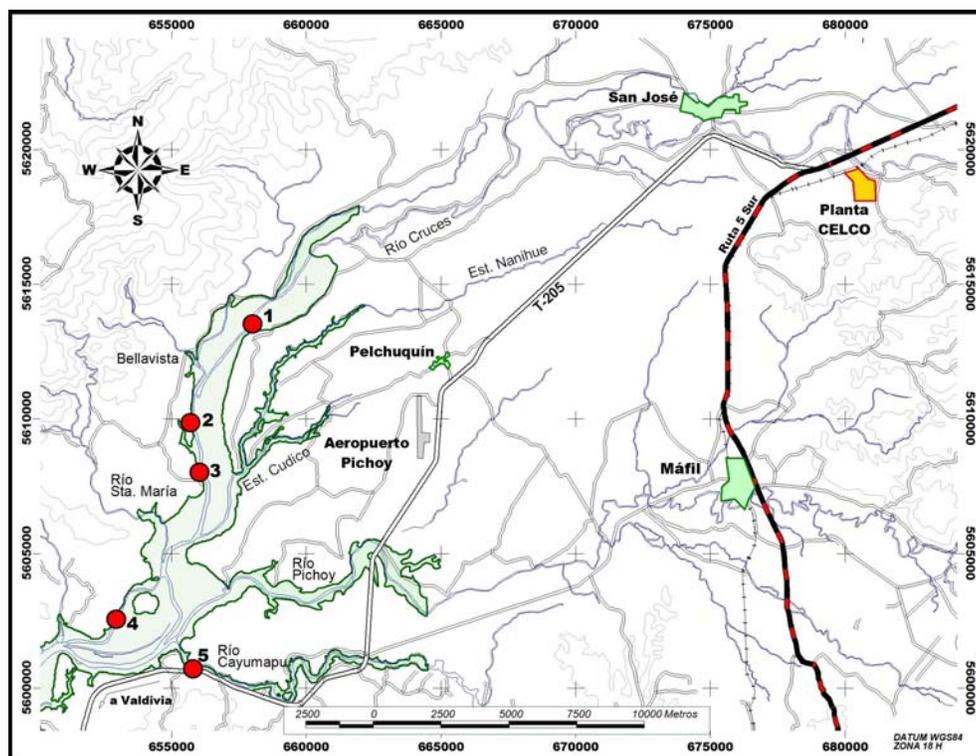


Figura. 105. Ubicación de las estaciones de muestreo de sedimentos para la determinación del comportamiento biogeoquímico del sedimento. El Sombreafo en verde representa los límites del Santuario y tributarios.

La Tabla 97 muestra las coordenadas geográficas de esas estaciones.

Tabla 97. Ubicación geográfica de las estaciones muestreadas en coordenadas sexagesimales y UTM para el estudio de comportamiento biogeoquímico de fondos sedimentarios y perfiles de metales pesados (Grilla de referencia de conversión en UTM: 184xb4533604584).

Estaciones	Sexagesimal		UTM	
estación 1	39°36'81.4''S	073°09'55.7''W	692232E	5611657N
estación 2	39°38'81.8''S	073°11'11.5''W	678749 E	5608267N
estación 3	39°39'81.1''S	073°10'85.0''W	678385 E	5606446N
estación 4	39°42'79.1''S	073°12'93.9''W	675188E	5601028N
estación 5	39°43'73.8''S	073°10'98.5''W	677897E	5599278N

Las muestras se recolectaron con un KC-HAPS corer para obtener testigos con la interfase agua-sedimento no perturbada, distorsionada o mezcladas (Fig. 106). Los testigos fueron inmediatamente dispuestos en cajas isotérmicas (40 litros), llenadas con agua del lugar para amortiguar el efecto del transporte al laboratorio y para mantener las condiciones de terreno (conductividad, oxígeno y temperatura), hasta el momento de procesar las muestras en el laboratorio.

10.3. Metodologías para el análisis de las muestras

Una vez en el laboratorio, los testigos fueron independientemente aireados y mantenidos en condiciones de temperatura constante en las mismas cajas. Durante las primeras 48 horas se midieron perfiles de oxígeno, Eh y H₂S. Los perfiles fueron ejecutados utilizando micro electrodos (2 a la vez) de 50-100 micrones y micromanipulados bajo el control de un PC a través de un brazo robotizado. El micromanipulador permite controlar la posición y tasa de penetración del microelectrodo en el sedimento a escala de micrones. La resolución de los perfiles fue de 200 micrones.

Se utilizaron las mediciones de penetración de oxígeno y de cambios de electronegatividad (Eh) de los sedimentos (i.e. redox), con la finalidad de determinar si la interfase agua-sedimento al momento del muestreo, presentaba condiciones metabólicas dominadas por procesos oxidativos y/o reductores. Se midió el potencial de electronegatividad (Eh), para relacionar la extensión de procesos aeróbicos manifestados por los perfiles de oxígeno. También, se procedió a medir H₂S, metabolito resultante principalmente de la reducción de sulfato, bajo condiciones anaeróbicas.

Cada uno de los perfiles de oxígeno fue utilizado conjuntamente con mediciones de porosidad de los sedimentos, para determinar tasas de producción y/o consumo de oxígeno por los sedimentos estudiados. Se utilizó el modelo de Berg et al.(1998), el cual

integra pendiente y profundidad de la penetración del oxígeno para establecer tasa de consumo y/o de producción de oxígeno en la interfase agua sedimento. La presencia de bioturbadores, material orgánico lábil/refractario aumentan o disminuyen la penetración del oxígeno en la columna de sedimento (Berg *et al.*, 1998, Mulsow *et al* 2005a).

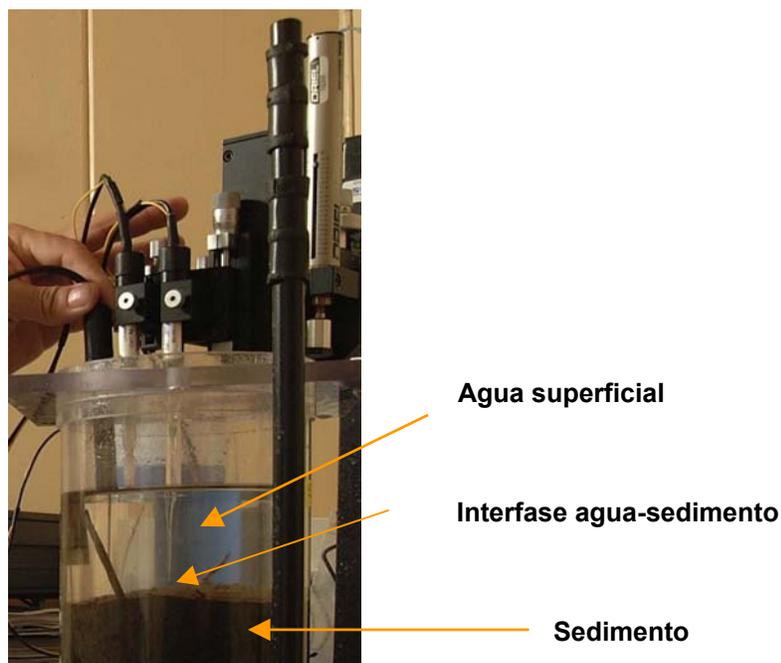


Figura 106. Testigo de sedimento recolectado con sistema KC-HAPS corer. Se muestra la interfase agua-sedimento intacta. Esta condición fue prerequisite para aceptar el testigo para análisis.

10.4. Resultados

En las Figuras 107 a 111 se representan los microperfiles de Oxígeno y Eh para cada una de las estaciones. Para la estación 4 sólo se midió Oxígeno, puesto que el microelectrodo de redox no fue funcional. En general, el Oxígeno, no penetró más allá de 2-4 mm de profundidad en los sedimentos de las cinco estaciones estudiadas. A ésta misma profundidad se encontró el cambio de Eh entre valores oxidativos (positivos) a regiones de la columna de sedimento donde dominan procesos reductores (negativos). Es necesario destacar que no se observó la presencia del metabolito comúnmente encontrado en ambientes reductores, hidrogeno sulfurado, razón por la cual no existen como resultado microperfiles de H_2S . En términos generales, éste metabolito es el

producto de la utilización de sulfato en la reducción de material orgánico presente en el sedimento bajo condiciones anóxicas.

Los resultados de la modelación de los perfiles de oxígeno sugieren que todas las interfases estudiadas están consumiendo oxígeno, aun cuando todas las estaciones visitadas fueron en aguas someras (menos de 2 metros). Si bién es cierto la coloración de las aguas fue intensa durante el muestreo, se podría haber esperado algún tipo de producción de Oxígeno (diatomeas bentónicas), como se ha observado en otros lugares con similares condiciones de luz (cf. Christiensen *et al.*,2000). Los valores de consumo de oxígeno aumentaron hacia las estaciones ubicadas en el centro del Santuario (estaciones 2 y 3 con valores de $123.4 \pm 85 \text{ umol L}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ y $11.3 \pm 55.7 \text{ umol L}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente; Tabla 98). Las estaciones 1, 4 y 5 presentaron consumos de Oxígeno más bajos. Estos valores son similares a consumos medidos en la desembocadura del estuario del río Tornagaleones (Mulsow *et al.*, en preparación) y Golfo de Ancud en áreas no afectadas por eutrofización (Mulsow *et al.*,2005b).

Tabla 98. Consumo de oxígeno (micromoles de oxígeno por litro de agua x metro cuadrado x día) de los sedimentos recolectados en Santuario. Los valores son promedios ± 1 desviación estándar.

Estaciones	micromol L ⁻¹ d ⁻¹
estación 1	75,4 \pm 39
estación 2	123.4 \pm 85
estación 3	113.3 \pm 56
estación 4	60.2 \pm 30
estación 5	80.6 \pm 41

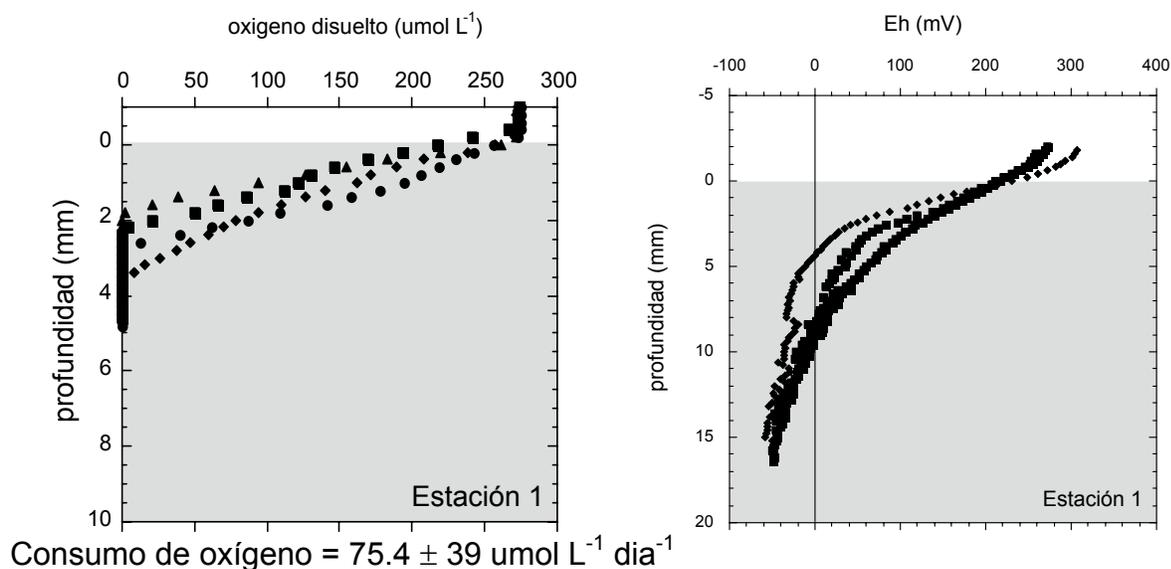
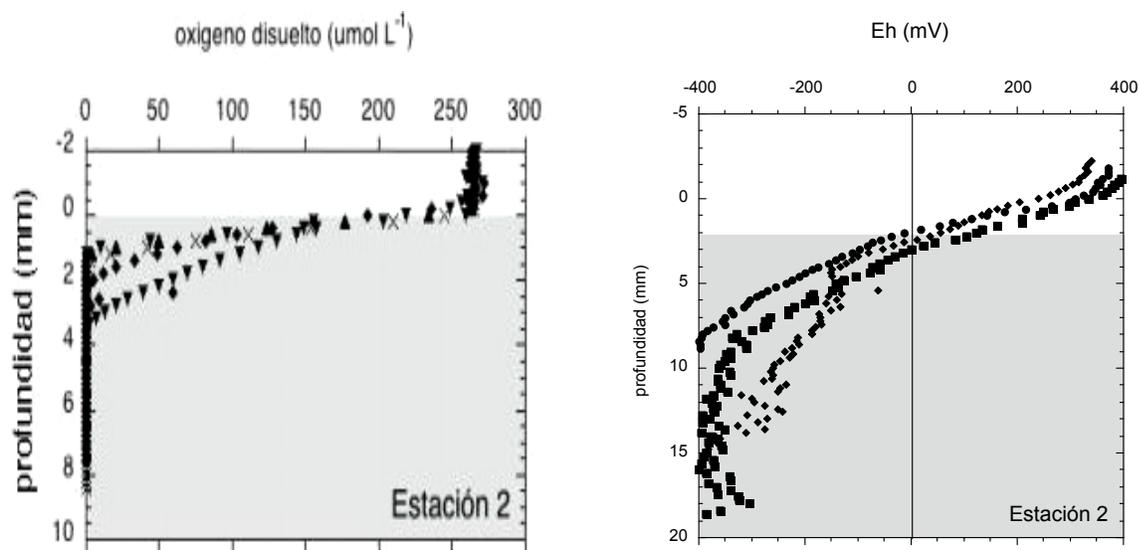
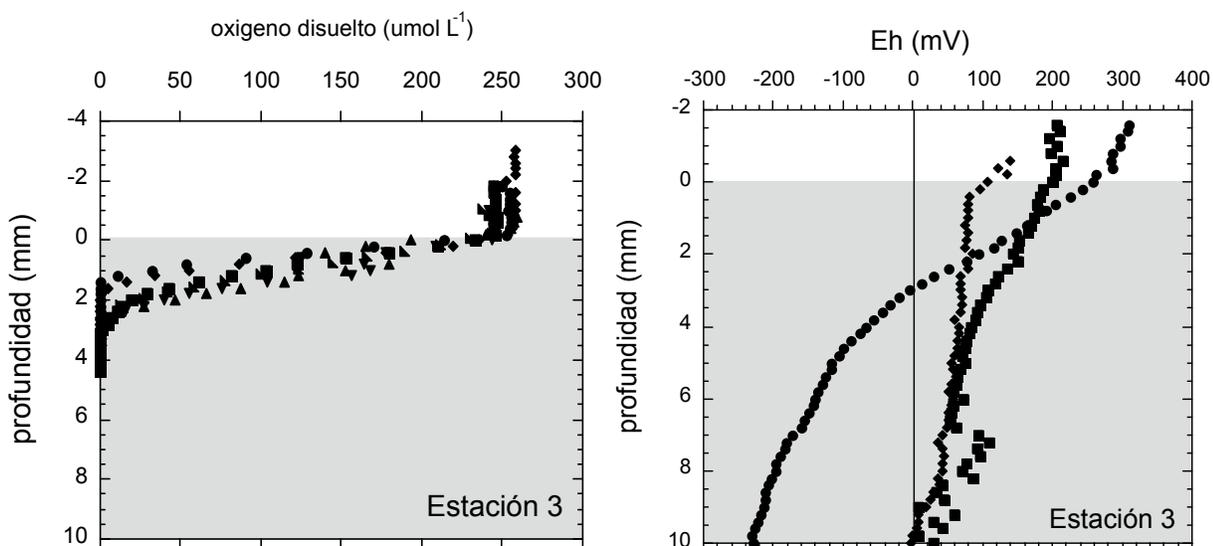


Figura 107. Microperfiles de oxígeno disuelto ($n = 4$) y Eh ($n=3$) medidos en testigo de sedimento recolectado en la estación 1. La penetración de oxígeno (difusión molecular + biomezclado) no alcanza a más de 3.5 mm de profundidad. La lamina de discontinuidad electronegativa varía entre 4 y 9 mm de profundidad



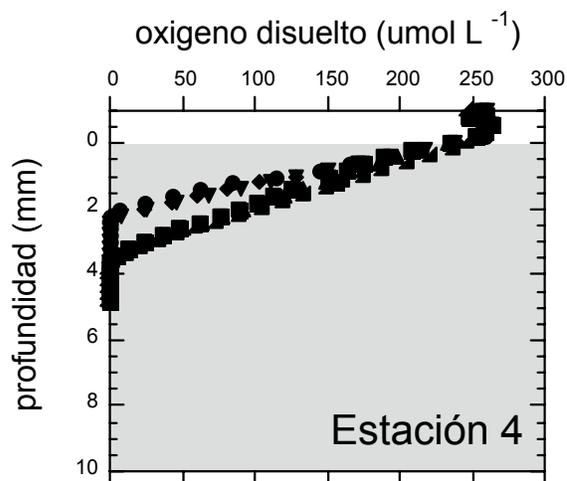
Consumo de oxígeno = $123.4 \pm 85 \mu\text{mol L}^{-1} \text{ dia}^{-1}$

Figura 108. Microperfiles de oxígeno disuelto ($n = 6$) y Eh ($n=4$) medidos en testigo de sedimento recolectado en la estación 2. La penetración de oxígeno (difusión molecular + biomezclado) llega a 1.5-3 mm. La lamina de discontinuidad electronegativa se encuentra muy cerca de la superficie ($< 1 \text{ mm}$).



Consumo de oxígeno = $111.3 \pm 55.7 \text{ umol L}^{-1} \text{ dia}^{-1}$

Figura 109. Microperfiles de oxígeno disuelto ($n = 6$) y Eh ($n=3$) medidos en testigo de sedimento recolectado en la estación 3. La penetración de oxígeno (difusión molecular + biomezclado) no alcanza a más de 3 mm de profundidad. La lamina de discontinuidad electronegativa varía entre 3 y 10 mm de profundidad.



Consumo de oxígeno = $60.2 \pm 29.7 \text{ umol L}^{-1} \text{ dia}^{-1}$

Figura 110. Microperfiles de oxígeno disuelto ($n = 4$) medidos en testigo de sedimento recolectado en la estación 4. La penetración de oxígeno (difusión molecular + biomezclado) no alcanza a más de 3 mm de profundidad. No fue posible medir Eh en este testigo.

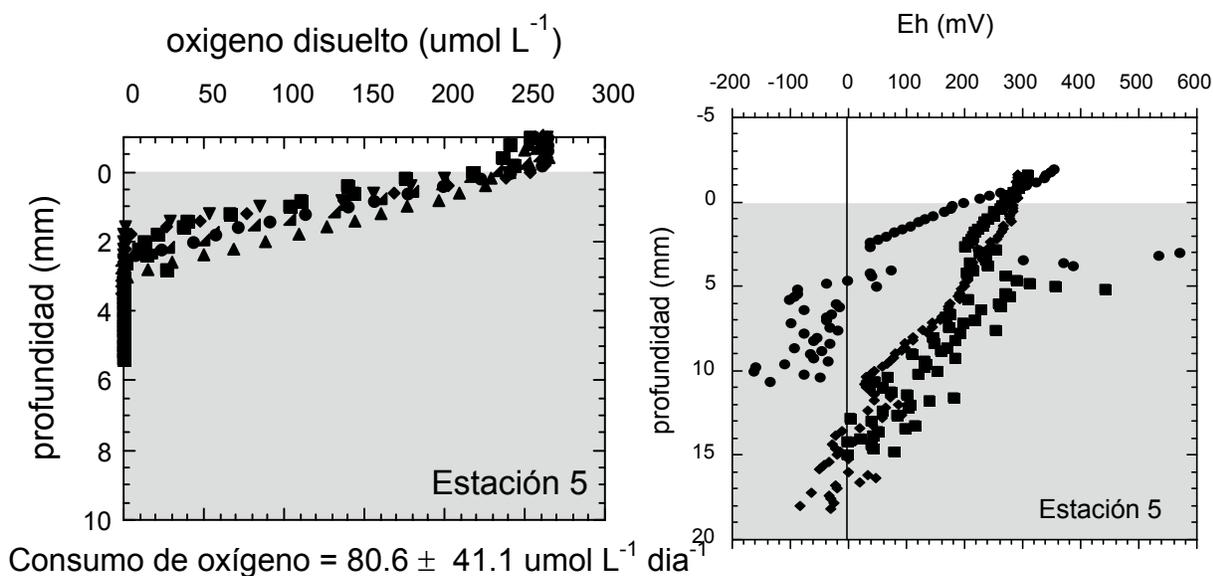


Figura 111. Microperfiles de oxígeno disuelto ($n = 6$) y Eh ($n=4$) medidos en testigo de sedimento recolectado en la estación 5. La penetración de oxígeno (difusión molecular + biomezclado) no alcanza a más de 3.5 mm de profundidad, sin embargo la misma (pendiente de la curva de concentración de oxígeno) es más pronunciada que en las estaciones 2, 3 y 4. La lamina de discontinuidad electronegativa varía entre 5 y 15 mm de profundidad.

10.5. Conclusiones

Los análisis de perfiles de oxígeno y Eh en los sedimentos permiten concluir que:

- i) Los valores de consumo de oxígeno son normales para ambientes con poca acumulación de material orgánico labil.
- ii) No se detectaron evidencias de procesos dominados por anaerobiosis (i.e. no hubo presencia de hidrogeno sulfurado), lo que indica que hasta el día 23 de Noviembre del 2004, el estado biogeoquímico de la interfase agua-sedimento muestreada en el Santuario, estaba dominado por procesos oxidativos.
- iii) Una de las razones de la escasa penetración del oxígeno en la columna de sedimento se debe al pequeño tamaño y bajas abundancias de los

invertebrados bentónicos que podrían producir perturbaciones biogénicas en los testigos estudiados (observación personal cualitativa).

Referencias

Berg, P., N. Risgaard-Petersen, and S. Rysgaard. 1998. Interpretation of measured concentration profiles in sediment pore water. *Limnol. Oceanogr.* 43(7):1500-1510

Christensen, P.B., S. Rysgaard, N.P. Sloth, T. Dalsgaard and S. Schwærter. 2000. Sediment mineralization, nutrient fluxes, denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium in an estuarine fjord with sea cage trout farms. *Aquat. Microb. Ecol.* 21: 73-84.

Loring, D. H. Rantala. 1991. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particular matter. *Earth Science Review.* 32:235-283

Mulsow, S. and P. Povinec. 2002. Mixing models (advection/diffusion/non-local exchange) and ^{210}Pb sediment profiles from a wide range of marine sediments. In: *Environmental changes and radioactive tracers.* J.-M. Fernandez and R. Fichez (eds.). IRD Editions. pp. 175-186.

Mulsow, S., Y. Krieger and R. Kennedy, 2005. SPI and microelectrodes technologies to assess salmon farming impact in Southern Chile. *Journal Marine Science* (accepted)

11. Registro histórico de las concentraciones de metales pesados (Geocronología)

11.1. Antecedentes

Los sedimentos acuáticos están constituidos por material autóctono y alóctono. El primero es generado en el lugar donde se encuentra el sedimento, a la vez que el segundo es transportado desde un lugar distante. Los constituyentes pueden ser inorgánicos y orgánicos. La cantidad y calidad de los sedimentos, depende entonces, en gran medida del tipo de material suspendido que se encuentra en la columna de agua.

Desde el punto de vista ecosistémico, son una interfase entre un medio líquido (fluido) y uno sólido formado por partículas. Esta interfase, tiene entonces el potencial de registrar cambios en el origen y concentración de los constituyentes del sedimento, dependiendo de las condiciones hidrológicas imperantes. El requisito es que el cambio debe tener una intensidad y duración determinada para poder dejar un registro. Finalmente, si los sedimentos muestran un cambio de régimen de entrada en el tiempo y utilizando una aproximación de datación (geocronología), es posible delimitar el período de tiempo en el que ha transcurrido tal o cual cambio dentro de un perfil de contaminación.

11.2. Metodologías para la obtención de las muestras

Estas se detallan en el punto 10.2. del Capítulo 10 (Comportamiento biogeoquímico del bentos de fondos sedimentarios).

11.3. Metodologías para el análisis de las muestras

Luego de realizados los análisis para el estudio del comportamiento biogeoquímico del bentos, los testigos de sedimento se transportaron al Servicio de Rayos X de un Centro Médico de Valdivia, para ser radiografiados. Los negativos se analizaron directamente y en forma digital después de digitalizar las imágenes con un digitalizador de barrido (Scanner) de alta resolución.

Una vez terminada la sesión de rayos X, los testigos se transportaron nuevamente al laboratorio evitando movimientos bruscos que pudiesen producir distorsiones en las columnas de sedimento. Posteriormente se seccionó cada testigo siguiendo el siguiente protocolo: i) secciones de 2 mm desde la superficie hasta los 10 mm, ii) secciones de 5 mm desde los 10 mm hasta 2 centímetros de profundidad, iii) secciones de 10 mm desde los 2 centímetros hasta 10 centímetros de profundidad, y iv) secciones de 20 mm desde los 10 centímetros hasta el final de testigo. Se utilizó un seccionador construido especialmente para estudios de alta resolución

Cada sección fue cuidadosamente depositada en placas de plástico previamente pesadas. Inmediatamente se determinó el peso húmedo. Luego de secar los sedimentos por 3 a 4 días a 60°C, se determinó el peso seco. Con los valores de peso húmedo y peso seco, conductividad (convertida a salinidad) y densidad, se calculó, porosidad, densidad bruta y profundidad de masa (g/cm^2). Estos parámetros se utilizaron en los cálculos de los modelos de difusión de oxígeno, inventarios de constituyentes inorgánicos y discriminación de facies (eventos como Tsunami) en cada uno de los testigos estudiados.

De cada una de las secciones se obtuvo una alícuota de sedimento seco de 150 mg para los análisis de metales pesados. Esta alícuota se digirió completamente utilizando el método de Loring & Rantala (1977). Finalmente el digerido fue enviado a SERNAGEOMIN (Santiago) y analizado utilizando ICP-MS y/o AAS. La utilización de

uno u otro método dependió de las concentraciones presentes en las muestras. Las muestras se trabajaron en grupos de muestras y con cada grupo de ellas se utilizó un blanco químico y una muestra de Material de Referencia certificada.

La datación de sedimentos acuáticos debe ser generada por al menos dos tipos de evidencias. Tradicionalmente se utilizan trazadores naturales y/o artificiales para la datación de sedimentos (^{210}Pb , ^{137}Cs , etc). Sin embargo, la datación por este método debe ser apoyada por otra evidencia independiente (Smith, 2002). En el caso de sedimentos lacustres se utiliza la estratigrafía de varves y la actividad presente en esos varves de un trazador como ^{210}Pb . En este estudio se aplicó la metodología de ^{210}Pb y un método basado en la presencia de un horizonte muy bien delimitado temporalmente (el Tsunami de 1960) y caracterizado por sus propiedades físicas (densidad y porosidad). Hasta la fecha solo se ha podido determinar la edad de los sedimentos mediante la segunda técnica. Los análisis de ^{210}Pb están siendo aún realizados (Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, Canada) debido a su baja concentración en los sedimentos, lo que resulta en un tiempo largo de conteo en espectrómetro alfa.

11.4. Resultados

11.4.1. Geocronología

Básicamente, cada uno de los testigos penetró hasta alcanzar el paleo suelo existente antes de la anegación de las antiguas tierras agrícolas durante el Tsunami de 1960. Este horizonte quedo claramente de manifiesto en la visualización radiográfica de cada uno de los testigos. En la Figura 112, se observa un testigo tipo en el cual se distingue claramente el horizonte entre paleo suelo y el sedimento acumulado desde 1960, aproximadamente entre los 13 y 14 centímetros. Por lo tanto, ese horizonte es un marcador físico de tiempo; i.e., sobre el mismo hay 44 años de depositación de sedimentos.

La columna de sedimento acumulada sobre este horizonte representa un periodo de tiempo de 44 años a la fecha de la colecta del testigo (23 de Noviembre del 2004). Este mecanismo de datación es un método robusto tanto como la metodología basada en el isótopo de plomo.

Se determinó una tasa de acreción aparente de sedimento de tres modos: i) medición directa en las radiografías de la distancia entre el horizonte del Tsunami y la superficie del sedimento, ii) determinación del punto de quiebre en la gradiente de densidad, y iii) determinación del punto de quiebre en la gradiente de porosidad de cada uno de los testigos.

Basado en la aproximación propuesta en este estudio se obtuvieron tasas de acumulación que variaron entre 2.95 a 4.14 milímetros por año (Tabla 99). Este alta tasa de acreción de partículas proporciona una resolución en tiempo de 6-8 meses después de ocurrida la depositación de las partículas.

Tabla 99. Tasa aparente de sedimentación en las estaciones estudiadas expresadas en milímetros por año. Valores son promedios (n=3) más una desviación estándar.

Estación	milímetros por año
estación 1	3.08 + 0.12
estación 2	3.50 + 0.10
estación 3	2.95 + 0.01
estación 4	3.16 + 0.24
estación 5	4.14 + 0.25

La técnica usada para determinar la sedimentación de partículas en los testigos solo puede ser corroborada por los datos de ^{210}Pb . Se concluye que la estimación de tasa de sedimentación en estos testigos, es una buena aproximación a una tasa de acumulación aparente de los ambientes de depositación estudiados.

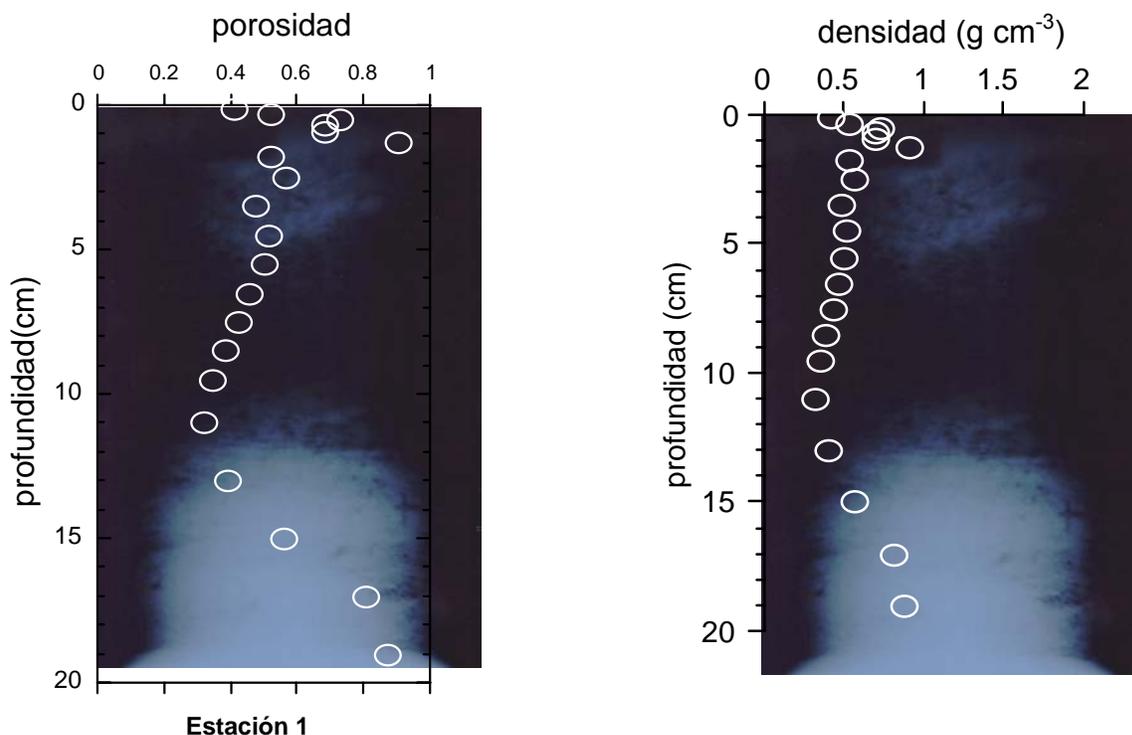


Figura 112. Radiografía del testigo de sedimento recolectado en la estación 1. Se agregan superpuestos los perfiles de porosidad y densidad del mismo testigo. Se observa claramente el cambio de facie entre los 13 y 14 centímetros, horizonte asociado al Tsunami de 1960.

11.4.2. Inventarios de metales pesados

En la Tablas 100 a 104 se presentan los inventarios de los metales pesados en los sedimentos del Santuario: Hierro, Manganeso, Vanadio, Cromo, Cobre, Níquel, Litio, Plomo, Molibdeno y Cadmio. Se ha considerado en los análisis la concentración de Aluminio aun cuando no se trate de un metal pesado. No se presentan datos para Arsénico y Zinc, ya que los blancos para estos dos metales fueron más altos que los obtenidos para cada uno de los restantes metales estudiados. Estos valores integran las concentraciones encontradas en los testigos recolectados el 23 de Noviembre del 2004.

Los inventarios se calcularon para los estratos de sedimento comprendidos entre la superficie y los dos primeros milímetros, entre la misma y los primeros cuatro milímetros y entre el estrato superficial del sedimento y el fondo del testigo; es decir, este último estrato representa la cantidad total del metal pesado integrado a lo largo del testigo estudiado. Los valores se expresan en kilos por metro cuadrado para Aluminio, Hierro y Manganeso y en miligramos por metro cuadrado para los restantes metales de las estaciones 1 y 2. Para las estaciones 3, 4 y 5, los inventarios se expresan en kilos por metro cuadrado para los elementos abundantes (Aluminio, Hierro y Manganeso) y en gramos por metro cuadrado para los metales menos representados. El objetivo de estos análisis fue distinguir cualquier cambio evidente en el aporte de tal o cual metal, entre los sedimentos muy recientes (semanas a meses) al momento de la recolección (23 de Noviembre del 2004) y los acumulados en un lapso de años (total del testigo).

Tabla 100. Inventarios de los once metales pesados medidos e integrados desde la superficie hasta 2 mm de profundidad, hasta 4 mm de profundidad y hasta el fondo del testigo de sedimento recolectado en la estación 1. Valores en mg/m^2 , con excepción de aquellos para Hierro, Aluminio y Manganeso que se expresan en kg/km^2 .

	superficie a 2 mm	superficie a 4 mm	superficie a fondo del testigo
Hierro	2.5×10^{-5}	6.7	553.1
Aluminio	3.5×10^{-5}	9.3	764
Manganeso	6.1×10^{-7}	0.1	13.0
Vanadio	9.0×10^{-5}	21.7	1920.7
Cromo	4.1×10^{-5}	10.1	884.7
Cobre	2.3×10^{-5}	4.6	550.8
Níquel	2.1×10^{-5}	4.1	440.2
Litio	5.5×10^{-6}	1.4	149.4
Plomo	1.3×10^{-5}	2.5	148.7
Molibdeno	4.0×10^{-7}	0.1	10.3
Cadmio	2.3×10^{-7}	0.1	5.2

Tabla 101. Inventarios de los once metales pesados medidos e integrados desde la superficie hasta 2 mm de profundidad, hasta 4 mm de profundidad y hasta el fondo del testigo de sedimento recolectado en la estación 2. Valores en mg/m^2 , con excepción de aquellos para Hierro, Aluminio y Manganeso que se expresan en kg/km^2 .

	superficie a 2 mm	superficie a 4 mm	superficie a fondo del testigo
Hierro	6×10^{-5}	4.2	448.4
Aluminio	7.6×10^{-5}	5.4	572.3
Manganeso	1.7×10^{-6}	0.1	12.8
Vanadio	2.4×10^{-4}	17.9	1806.6
Cromo	1.2×10^{-4}	8.7	934.3
Cobre	6.8×10^{-5}	5.1	517.1
Níquel	3.5×10^{-5}	4.5	303.7
Litio	5.9×10^{-3}	2.7	498.9
Plomo	2.0×10^{-5}	1.6	142.7
Molibdeno	2.4×10^{-6}	0.1	7.6
Cadmio	9.2×10^{-7}	0.2	18.9

Tabla 102. Inventarios de los once metales pesados medidos e integrados desde la superficie hasta 2 mm de profundidad, hasta 4 mm de profundidad y hasta el fondo del testigo de sedimento recolectado en la estación 3. Valores en g/m^2 , con excepción de aquellos para Hierro, Aluminio y Manganeso que se expresan en kg/km^2 .

	superficie a 2 mm	superficie a 4 mm	superficie a fondo del testigo
Hierro	2.6	3.9	20.4
Aluminio	3.2	4.7	25.4
Manganeso	0.1	0.1	0.60
Vanadio	10.1	15.2	76.8
Cromo	5.1	7.7	40.2
Cobre	3.7	5.1	21.7
Níquel	3.1	4.0	16.4
Litio	0.8	3.5	178.2
Plomo	1.0	1.5	6.5
Molibdeno	0.0	0.1	0.3
Cadmio	0.2	0.2	1.1

Tabla 103. Inventarios de los once metales pesados medidos e integrados desde la superficie hasta 2 mm de profundidad, hasta 4 mm de profundidad y hasta el fondo del testigo de sedimento recolectado en la estación 4. Valores en g/m^2 , con excepción de aquellos para Hierro, Aluminio y Manganeso que se expresan en kg/km^2 .

	superficie a 2 mm	superficie a 4 mm	Superficie a fondo del testigo
Hierro	8.1	22.7	999.9
Aluminio	10.2	29.1	1302.0
Manganeso	0.2	0.6	27.4
Vanadio	31.2	89.2	3816.5
Cromo	16.6	47.3	2065.8
Cobre	9.1	25.7	1174.0
Níquel	5.3	15.8	797.6
Litio	3.2	9.6	484.9
Plomo	2.8	7.7	324.5
Molibdeno	0.2	0.3	18.4
Cadmio	0.5	1.4	63.6

Tabla 104. Inventarios de los once metales pesados medidos e integrados desde la superficie hasta 2 mm de profundidad, hasta 4 mm de profundidad y hasta el fondo del testigo de sedimento recolectado en la estación 5. Valores en g/m^2 , con excepción de aquellos para Hierro, Aluminio y Manganeso que se expresan en kg/km^2 .

	superficie a 2 mm	superficie a 4 mm	superficie a fondo del testigo
Hierro	8.4	25.8	1149.3
Aluminio	10.3	32.5	1484.1
Manganeso	0.3	0.7	24.2
Vanadio	24.2	74.8	4185.4
Cromo	12.6	36.9	2390.1
Cobre	8.5	28.2	1152.7
Níquel	6.6	24.5	1107.6
Litio	4.3	14.4	713.8
Plomo	2.3	9.1	290.8
Molibdeno	0.2	0.5	19.1
Cadmio	0.1	0.4	13.3

La primera observación, es que los inventarios aumentan desde la cabeza del Santuario (estación 1) hacia el centro del mismo (estaciones 3, 4 y 5). La segunda observación, es que el Aluminio en todas las estaciones fue el metal pesado más abundante, seguido del Hierro y el Manganeso. En todas las estaciones, los inventarios de Hierro, Aluminio y Manganeso, fueron los principales constituyentes de los sedimentos estudiados, seguidos del Litio, Cromo, Cobre, Níquel, Plomo, Cadmio y finalmente Molibdeno (Tablas 100-104)). Una tercera observación es que no sólo el inventario de los metales pesados más abundantes aumenta hacia la parte central del Santuario, sino que también lo hacen los metales menos representados en tres ordenes de magnitud respecto a estos mismos elementos en las estaciones 1 y 2, en los estratos 0- 2 mm del sedimento. En las estaciones de la cabeza del Santuario, las concentraciones de esos metales pesados se miden mg/m^2 y en las estaciones 3, 4 y 5 en g/m^2 .

Aunque los suelos existentes en la región poseen bastante Aluminio (suelos tipo Trumaos, ver Capítulo 4 “Concentraciones de metales pesados en rocas, suelos, aguas subterráneas y ambientes estuariales de Valdivia”), la meteorización y movilización de estos elementos desde el suelo requiere un cambio de pH significativo bastante bajo (pH 4-5) (Hall *et al.*, 1985). Tal vez otra fuente sea necesaria para explicar su presencia en sedimentos tan superficiales como 4 mm, y en tales concentraciones como las encontradas en este estudio.

El hecho de que por un lado, los inventarios aumenten hacia la parte central del Santuario para todos los elementos y que los metales pesados presentes en las estaciones 1 y 2 (con la excepción de Aluminio, Hierro y Manganeso), se magnifiquen por un factor de 1000 puede ser explicado de la siguiente manera. Es conocido que el Hierro, así como el Manganeso, son elementos de transición y con características de ramoneadores (“scavengers”) de otros metales pesados sensitivos a cambios de redox como lo son el Cobre, Níquel, Cromo y Plomo, entre otros. Este comportamiento químico del Hierro y Manganeso puede explicar el porque, esos otros elementos siguen un patrón similar al Hierro en todas las estaciones. Por el contrario, el Cadmio y el

Molibdeno no parecen seguir el mismo patrón. El Molibdeno es un elemento que se precipita en forma importante en condiciones anaeróbicas, de lo contrario permanece en solución. En el Capítulo anterior se concluyó que la interfase agua-sedimento del Santuario está dominada por procesos oxidativos, lo cual estaría siendo corroborado por la baja concentración de Molibdeno cuando los otros elementos sensibles al redox se concentran. El Cadmio por su parte, se encuentra en forma natural como Cd^{+2} y debe competir con el Cobre, Plomo y Zinc para precipitar como sal (Page, 1999), los cuales son mas abundantes en las muestras. Esto explicaría por que el Cadmio aparece como elemento traza respecto a los otros constituyentes inorgánicos estudiados.

El aumento gradual de metales pesados hacia la parte media del Santuario, puede ser el resultado de la hidrodinámica físico-química propia de esta zona del humedal y que tiene carácter estuarial y por ende, afectada por ondas mareales. En esa zona del Santuario, el tiempo de residencia de las aguas y por consecuencia del material particulado, disuelto y coloidal es más largo que en la cabeza y aguas arriba de la misma; es decir, aumenta la probabilidad de acumulación. En términos generales, en la región media del Santuario se concentran y depositan los compuestos particulados y probablemente disueltos, provenientes de los efluentes al humedal, el más importante el río Cruces.

El cálculo del aporte (cambio) reciente de los metales pesados (representados en el estrato 2-4 mm) a la columna de sedimento, muestra los siguientes porcentajes de cambio para esos metales (calculados en relación al total encontrado a lo largo del testigo): $1\% \pm 0.2$ para las estaciones 1 y 2, $32.5\% \pm 10$ para la estación 3, $7.5\% \pm 3.5$ para la estación 4 y $3.1\% \pm 0.6$ para la estación 5 (Figura 113). La comparación de las diferencias de aporte entre los dos primeros mm y los dos siguientes (2-4 mm), expresados como porcentaje del total del testigo, muestra una alta significancia ($P < 0.000001$) entre las medianas de rango, siendo la media de la estación 3 significativamente mas alta que cualquier otra diferencia (resultados del test no-paramétrico de Kruskal-Wallis).

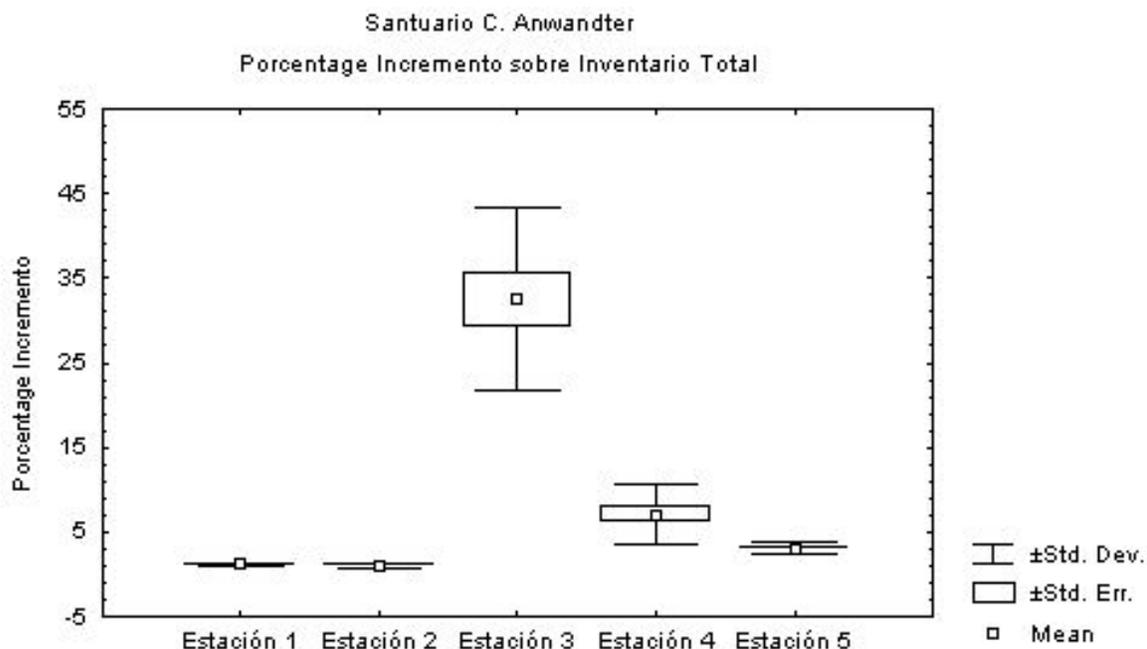


Figura 113. Gráficos de Whisker, para las medias de los porcentajes de cambio de la concentración de metales pesados desde la superficie hasta una profundidad de 4 mm en los testigos de sedimento. El porcentaje se calculó sobre el total del metal de toda la columna de sedimentos. Este gráfico está basado en los resultados del test Kruskal-Wallis (STADISTICA™)

11.5. Conclusiones

- i) Se detectó un fuerte cambio al comparar los inventarios de metales pesados entre los estratos 2-4 mm y la superficie de los sedimentos. Este cambio no fue igual a lo largo del Santuario, ya que se observó un gradiente de concentración desde las estaciones 1 y 2 a la 3, para desde ahí disminuir hacia las estaciones 4 y 5.
- ii) Lo anterior sugiere que el régimen de aporte/precipitación de metales pesados ocurrió a los 4 mm de profundidad del testigo y que desde ese entonces, el aporte ha disminuido hacia la superficie. Esta disminución podría indicar por un lado, que la tasa de aporte de metales disminuyó o

que no ha disminuido y que los metales están siendo movilizados desde los sedimentos hacia la columna de agua.

- iii) El gradiente de inventarios es más o menos general a todos los metales pesados estudiados, con excepción de Cadmio y Molibdeno.
- iv) La alta concentración de Aluminio en los sedimentos puede tener un origen local derivado de los suelos dominantes en la zona. El Aluminio es un elemento importante en los suelos ribereños del humedal y en todas las zonas donde se vea un horizonte de suelo tipo Trumao (SERNAGEONIM, 2004). Procesos de lixiviación de Aluminio favorecidos por lluvia ácida (con valores de pH=4-6) han sido descritos para el Noreste de USA (Cronin & Shcofield, 1979), Noruega (Muniz & Leivestad, 1980) y Suecia (Dickson, 1980). También se conoce que la solubilidad de Aluminio es favorecida por la presencia de complejos ligados con fluor, sulfato y partículas orgánicas disueltas (Lind & Hem, 1975; Reberson & Hem, 1980). A la fecha no se ha determinado la presencia de lluvia ácida en la zona aledaña al Santuario, por lo que es posible que el Aluminio haya ingresado al humedal desde una fuente puntual. Indicaciones de que esto esté ocurriendo es la presencia de espuma en la superficie del agua, debido a la capacidad del Aluminio de romper la tensión superficial en la presencia de otros compuestos como sulfato, fluor y carbono orgánico disuelto, como ha sido reportado en Hall *et al.*, (1985). Sin embargo, no tenemos a la fecha datos empíricos de presencia de espuma en las aguas.
- v) Utilizando las tasas de sedimentación (datación) basadas en radiografías y densidad de los sedimentos de cada una de las estaciones, es importante destacar que el aumento de metales pesados observado entre 2-4 mm de profundidad está asociado a sedimentos depositados entre

Marzo y Abril del 2004. Si bien es cierto que los sedimentos registran los cambios de regimenes de aporte de contaminantes, la acumulación no es instantánea, incluso tomando en cuenta que los humedales son áreas de filtro y acumulación de contaminantes (Cochran, 2001). Debido a lo mismo, es prudente asignar un rango mas amplio al cambio de inventarios ocurridos a los 4 mm de profundidad de los testigos estudiados.

Referencias

- Cochran, K., 2001. Nuclear techniques applied to coastal zone Issues. Report IAEA. Thematic Planning activity. Monaco.
- Hall, R., C. Driscoll, G. Likens and M. Pratt. 1985. Physical, chemical and biological consequences of episodic aluminum additions to a stream. *Limn. Oceanogr*, vol 30 (1): 212-220.
- Page, S.D. UNDERSTANDING VARIATION IN PARTITION COEFFICIENT, K_d , VALUES Volume II: Review of Geochemistry and Available K_d Values for Cadmium, Cesium, Chromium, Lead, Plutonium, Radon, Strontium, Thorium, Tritium (3H), and Uranium August 1999, pp 341.
- Santschi, P. 1988. Factors controlling the biogeochemical cycles of trace elements in fresh and coastal marine waters as revealed by artificial radioisotopes. *Limnol. Oceanogr*. Vol 33 (4): 848-866
- Cronin, C.S., and C.L. Shcofield, 1979. aluminum leaching response to acid precipitation: effecton high elevation watersheds in the northeast. *Science*, 204: 304-306
- Muniz, I.P. and H. Leivestad 1980. Acidification effects on freshwater fish, p 84-92. In: Ecological impact of acid precipitation. Proc. Int. Conf. SNSF Project.
- Dickson, W. 1980. Properties of acidified water, pp 75-83. In: Ecological impact of acid precipitation. Proc. Int. Conf. SNSF Project.
- Lind, C.J., and J.D. Hem, 1975. Gibbsite solubilityand thermodynamic properties of hydroxy-aluminum ions in aqueous solution at 25C. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 43:861-868.
- Reberson C.E. and J.D. Hem, 1980. Solubility of aluminum in the presence of hydroxide, flouride ans sulfata. US Geol.Surv. Water Supply Paper 1827C.

12. Perfiles de metales pesados en sedimentos del Santuario

12.1. Antecedentes

El análisis de perfiles verticales de sedimentos, apoya la intuición de que diversos tipos de contaminantes han ingresado al medio acuático, desde el inicio de la industrialización y que en lugares donde existen regulaciones adecuadas, la concentración de los metales ha comenzado a disminuir. La disminución de la concentración de metales en los sedimentos ocurre de todos modos, ocurran o no procesos post-deposicionales importantes como mezclado biológico y/o físico (Robbins, 1978). Es por esta razón que Mulsow & Povinec (2000), muestran que en áreas costeras y aun de mares profundos, pocos son los casos en los cuales trazadores como ^{210}Pb han sido interpretados como el resultado de decaimiento y acumulación. Siempre es necesaria la modelación del mezclado/sedimentación, utilizando funciones de entrada para contaminantes y así intentar validar las observaciones empíricas de cualquier trazador utilizado en geocronología. Sin embargo, existen otras aproximaciones para determinar un indudable horizonte estratigráfico al cual se le puede asociar dimensión temporal (Smith, 2001).

En este estudio, no se intenta reconstruir, por ejemplo, la historia completa de los últimos 50 años del humedal; por el contrario, se intenta determinar si la gradiente o no de ciertos metales pesados muestran un cambio de régimen de entrada/salida desde la columna de sedimento.

Los resultados entregados en el Capítulo 11 (Geocronología) demuestran que se pudo utilizar un horizonte estratigráfico bien delineado, visual y físicamente. Este marcador temporal fue utilizado para determinar una tasa de sedimentación, considerada constante en las últimas cuatro décadas.

12.2. Resultados

Tres metales pesados, Aluminio, Hierro y Manganeso, se encontraron siempre un altas concentraciones a lo largo de cada uno de los testigos.

El testigo de sedimento recolectado en la estación 1 (entrada humedal), presenta dos características importantes. En la profundidad del mismo existe un submáximo que coincide en términos generales con las inicios de los años 60 (Fig. 114) . Esto es de particular importancia, puesto que es en este tiempo cuando el humedal del río Cruces se originó como resultado del Tsunami de 1960. Este fenómeno oceanográfico dejó entonces una señal muy clara, representada por los diferentes niveles de metales pesados. Hacia los estratos más superficiales del testigo y cercano a los años 2000-2004, se observa una fuerte variación de las concentraciones de casi todos los metales pesados estudiados. Particularmente pronunciado, es el perfil de Aluminio, Hierro y Manganeso. Este cambio se observó en el segundo estrato desde la superficie del sedimento. Para el caso de la estación 1, esto se asocia con sedimentos tan viejos como Marzo-Abril del 2004, basados en la técnica de datación utilizada.

Se determinaron perfiles de metales pesados similares para la estación 2 (Fig. 115). Aquí sin embargo la señal registrada para los años 60 no es tan clara, no por que no exista, sino que por que no todos los estratos del testigo han sido analizados. Es probable que una vez que se complete el perfil de análisis, también aparezca claro el registro de 1960. Los perfiles de la estación 2 registran cambios similares a los del testigo 1 y ocurrentes en los primeros milímetros del sedimento. Estos cambios están asociados a un estrato tan antiguo como Marzo-Abril del 2004. Nuevamente, estos cambios son más evidentes en los perfiles de los elementos mas representados es decir Aluminio, Hierro y Manganeso,.

Los perfiles de metales pesados medidos en las estaciones 3 (Fig.116) y 4 (Fig.117) son bastante similares. En todos ellos no se aprecia la señal del Tsunami

registrada en la estación 1. Sin embargo, el cambio de regímenes en los primeros milímetros es notorio para casi todos los metales medidos; a diferencia de las estaciones anteriores, en muchos de los perfiles el máximo se encuentra en la superficie. En las estaciones 1 y 2 aparentemente la entrada de metales disminuyó y/o se removilizó en la columna del sedimento. Los cambios recientes se asocian a un estrato tan antiguo como Marzo-Abril del 2004.

Los perfiles de metales pesados medidos en la estación 5 (ubicada fuera del curso principal del río Cruces) (Figura 118) son algo diferentes de los anteriores, ya que se presentan cambios similares de regímenes en los primeros milímetros. Sin embargo, estos no son tan pronunciados que los observados en las otras estaciones. Los primeros estratos están asociados a escalas de tiempo similares a las anteriormente mencionadas.

En este estudio no se muestreo en otro humedal, de tal modo de haber contado con una estación “control”. Tal vez hubiese sido necesario estudiar perfiles de metales pesados en otras cuencas hidrográficas y así poder comparar solamente el comportamiento de contaminantes atmosféricos. Sin embargo, y ya que las comparaciones dentro de cada testigo de sedimento relatan la historia pasada de sus constituyentes, el motivo primario de este estudio (transporte hidrológico, cantidad y calidad de los perfiles de metales pesados en el sedimento), pudo ser llevado a cabo.

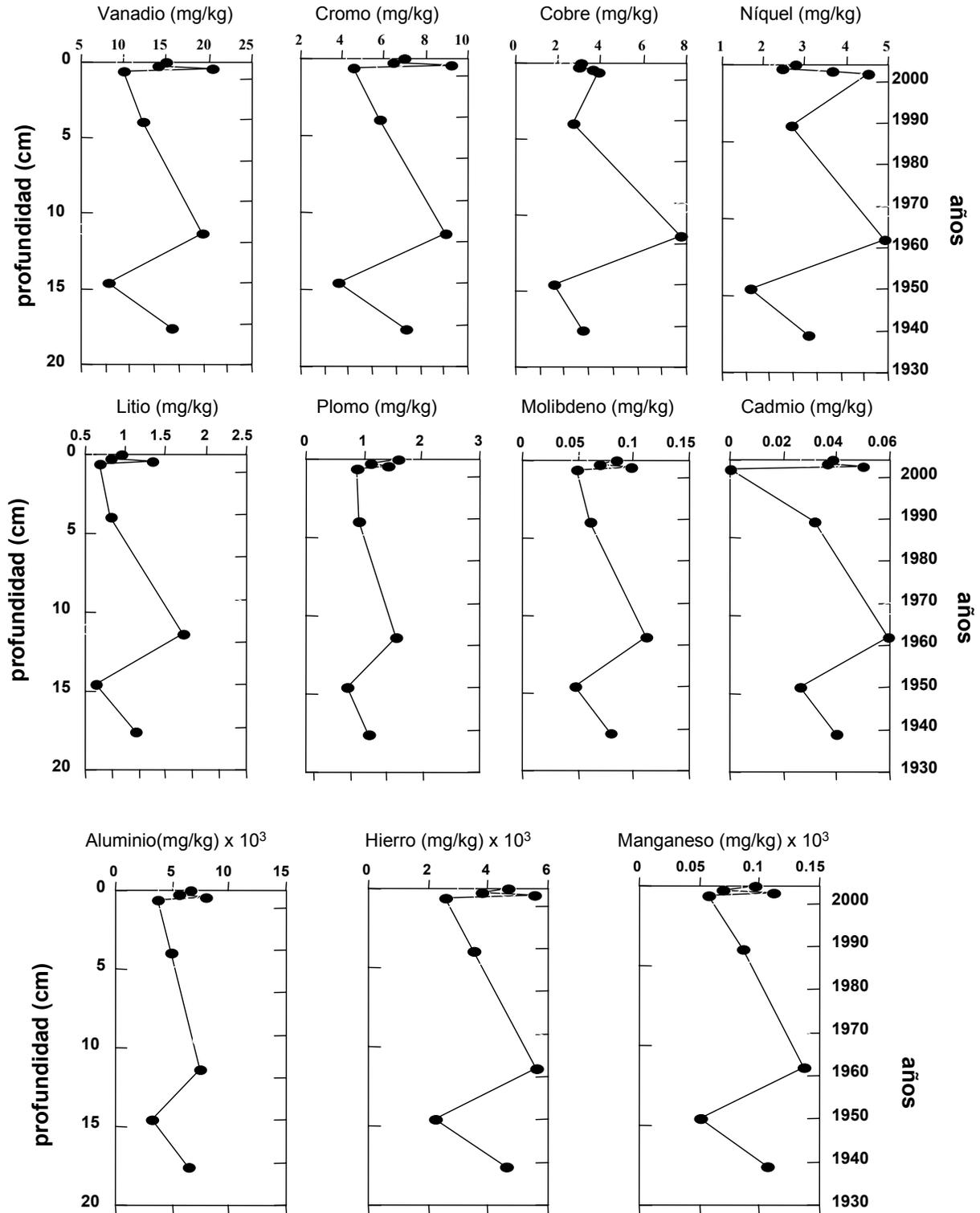


Figura 114. Perfiles de concentración de metales pesados analizados en los sedimentos de la estación 1.

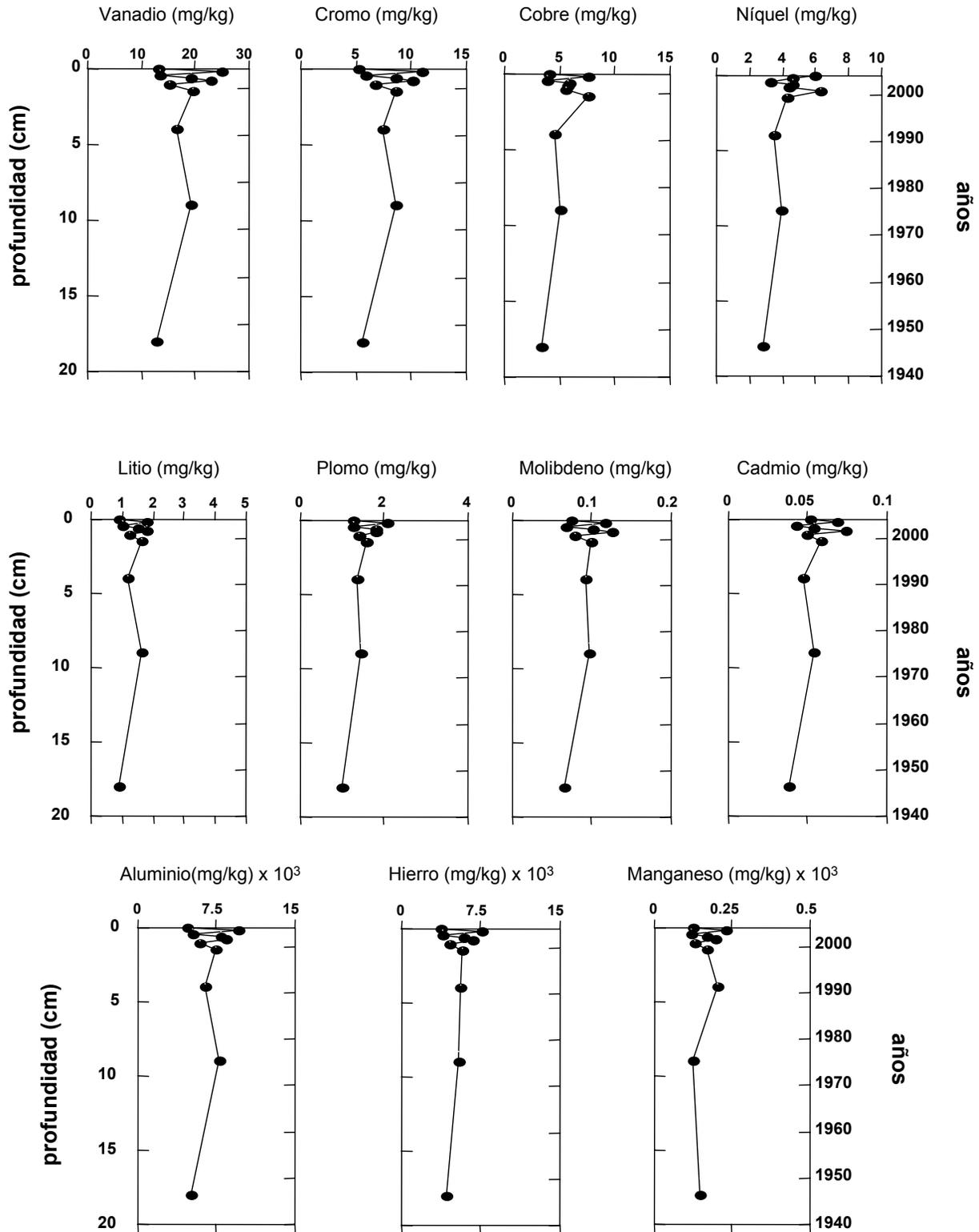


Figura 115. Perfiles de concentración de metales pesados analizados en los sedimentos de la estación 2.

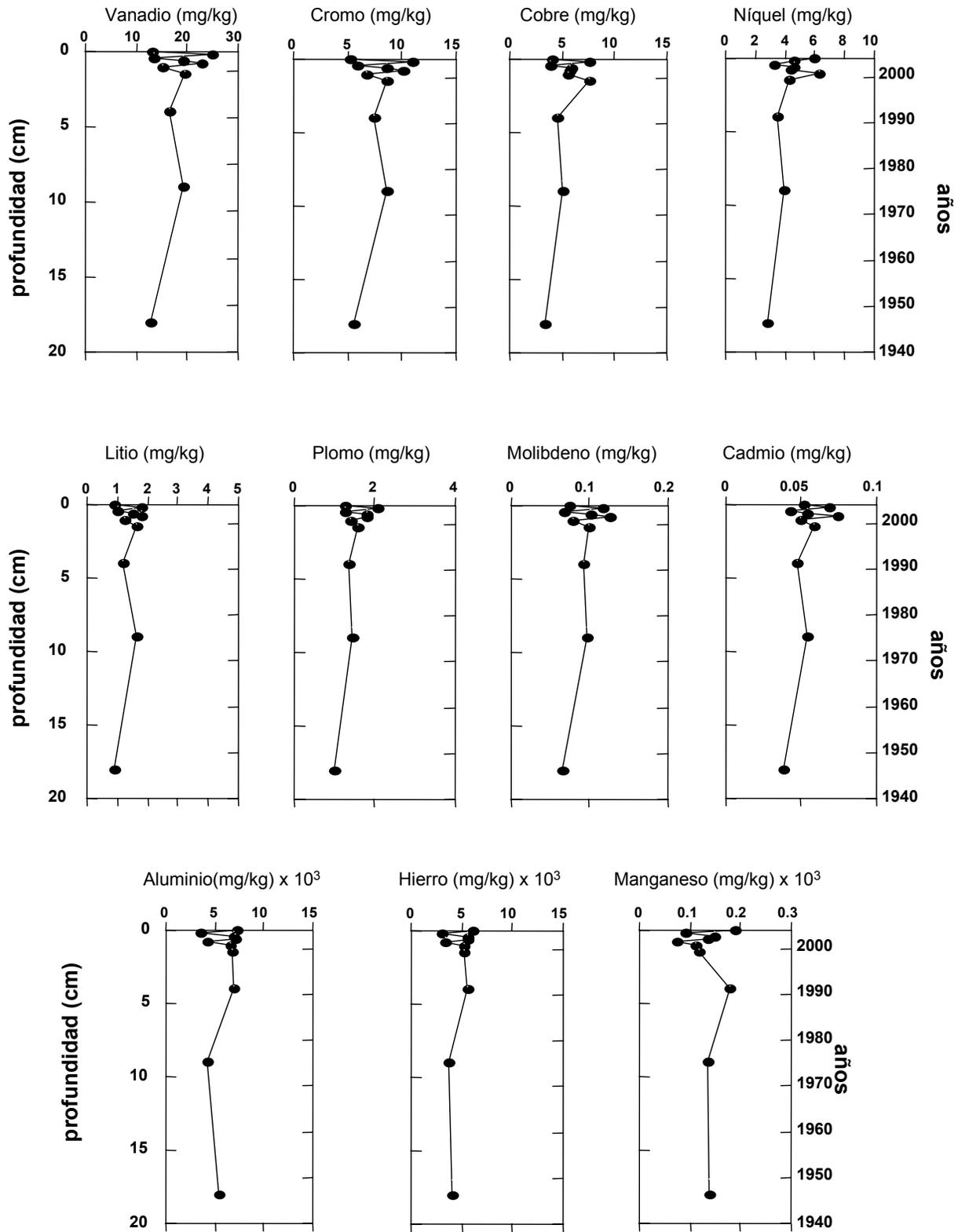


Figura 116. Perfiles de concentración de metales pesados analizados en los sedimentos de la estación 3.

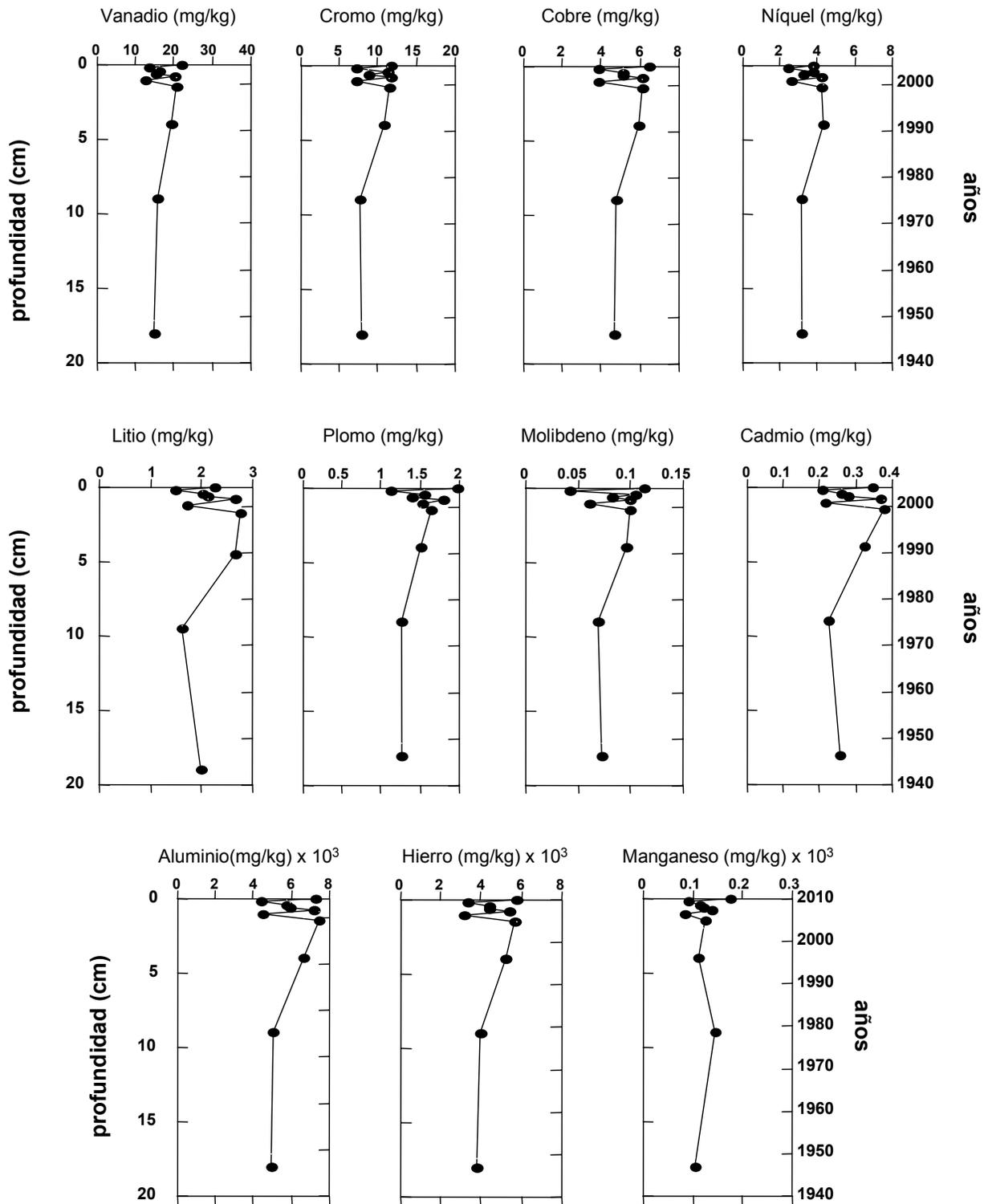


Figura 117. Perfiles de concentración de metales pesados analizados en los sedimentos de la estación 4.

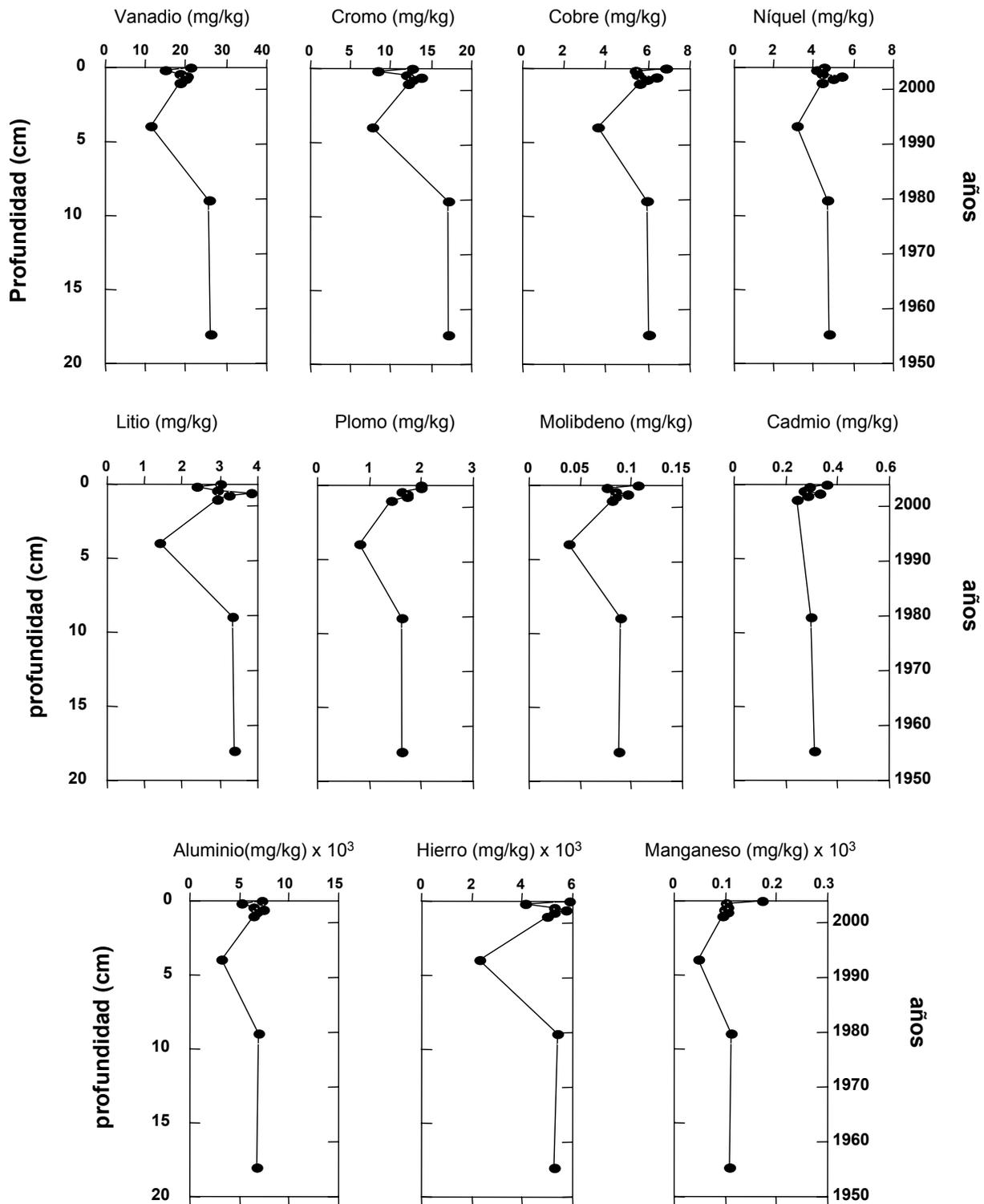


Figura 118. Perfiles de concentración de metales pesados analizados en los sedimentos de la estación 5.

12.3. Conclusiones

- i) Los cambios de regimenes de depositación de metales pesados quedan registrados en los perfiles de concentración de metales.
- ii) En el testigo de la estación 1, se observa claramente el cambio ocurrido durante la génesis del humedal: el Tsunami de 1960.
- iii) Todos los testigos sin excepción, muestran cambios en las abundancias de metales pesados en los primeros mm de cada uno de ellos. Estos cambios son mas evidentes en aquellos elementos mas abundantes (Aluminio, Hierro y Manganeso).
- iv) En la mayoría de los perfiles analizados, los cambios anteriores a la recolección de los testigos de sedimentos (23 de Noviembre del 2004) son coincidentes en tiempo y aparentemente comenzaron en el período Marzo-Abril del 2004.
- v) Aún cuando no se ha corroborado la técnica de datación utilizada en este estudio por una instancia independiente, el horizonte estratigráfico utilizado permitió determinar tasa aparente de sedimentación.

Referencias

Mulsow, S. and P. Povinec. 2002. Mixing models (advection/diffusion/non-local exchange) and ^{210}Pb sediment profiles from a wide range of marine sediments. In: Environmental changes and radioactive tracers. J.-M. Fernandez and R. Fichez (eds.). IRD Editions. pp. 175-186.

Robbins., J. A. 1978. Geochemical and geophysical applications of radioactive lead isotopes. In: J.O. Nriagu (ed)Biogeochemistry of Lead (pp 285-393). Elsevier, Amsterdam.

Smith JN. 2001. Why should we believe ^{210}Pb sediment geochronologies? J Environ Radioact. 55:121-123.

13. Bentos de fondos ritrales

13.1. Antecedentes

La comunidad bentónica de invertebrados que vive en sustratos fluviales duros (ripios y bolones) también denominados fondos ritrales, está compuesta por organismos que se adhieren a la superficie de los clastos o se refugian en los intersticios entre ellos para evitar ser arrastrados por la corriente. Los invertebrados más frecuentes y constantes de esta comunidad son larvas y estados inmaduros de insectos con ciclo de vida anfibio (larvas acuáticas y adultos terrestres-aéreos), tales como plecópteros, efemerópteros, tricópteros, dípteros, coleópteros y odonatos, cuyos estados preadultos viven en el fondo de los ríos por periodos que van desde meses a años. Estos insectos coexisten con invertebrados cuyo ciclo vital es completamente acuático (Hynes, 1960).

La composición taxocenótica de los fondos ritrales varía en relación a factores histórico-evolutivos y ecológicos (Giller & Malmqvist, 1998; Angelier, 2003). La comunidad bentónica refleja en su taxonomía y abundancia, las condiciones globales del ambiente respondiendo colectivamente a perturbaciones tales como contaminación orgánica, contaminación química, alteración del habitat y colonización por especies foráneas (Rosenberg & Resh, 1993). Por lo tanto, los invertebrados bentónicos de fondos ritrales son una herramienta poderosa para evaluar el efecto de perturbaciones de origen antrópico (Arenas 1993, Hynes, 1965).

En el contexto anterior, se analiza en este subproyecto la composición de la comunidad de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del río Cruces, aguas arriba del Santuario, con el fin de evaluar el eventual impacto ambiental de las descargas de los residuos líquidos que la planta Valdivia de CELCO vierte al río Cruces.

13.2. Metodologías para la obtención de las muestras

La comunidad macrozoobentónica (> 500 micras de tamaño) fue muestreada en seis localidades del río Cruces, aguas arriba del Santuario. En la Figura 119 se muestra la ubicación de las seis estaciones de muestreo. Las estaciones 1 y 2 se ubicaron aproximadamente 500 y 100 m aguas arriba del efluente de los riles de la planta de CELCO. La estación 3 se ubicó aproximadamente 50 m aguas debajo de ese efluente; la estación 4 en la orilla sur del puente Rucaco (aproximadamente 1.5 km aguas abajo de la estación 2), la 5 en orillas del río Cruces ubicadas frente a San José de la Mariquina (antes del puente Cruces) y la 6 en el sector de Cahuincura (aproximadamente 8 km aguas abajo del puente Rucaco). La Tabla 105 muestra las coordenadas de esas seis estaciones.

Tabla 105. Ubicación geográfica de las estaciones muestreadas en coordenadas sexagesimales y UTM (Grilla de referencia de conversión en UTM: 184xb4533604584).

Estaciones	Sexagesimal		UTM	
estación 1	39°33'31.9''S	072°52'99.2''W	657574 E	5521948 N
estación 2	39°33'51.9''S	072°53'26.3''W	675233 E	5664115 N
estación 3	39°33'53.7''S	072°53'39.4''W	672100 E	5603631 N
estación 4	39°33'16.4''S	072°54'14.7''W	676818 E	5615030 N
estación 5	39°32'61.8''S	072°57'52.7''W	674887 E	5620078 N
estación 6	39°32'88.8''S	073°02'92.5''W	666758 E	5619425 N

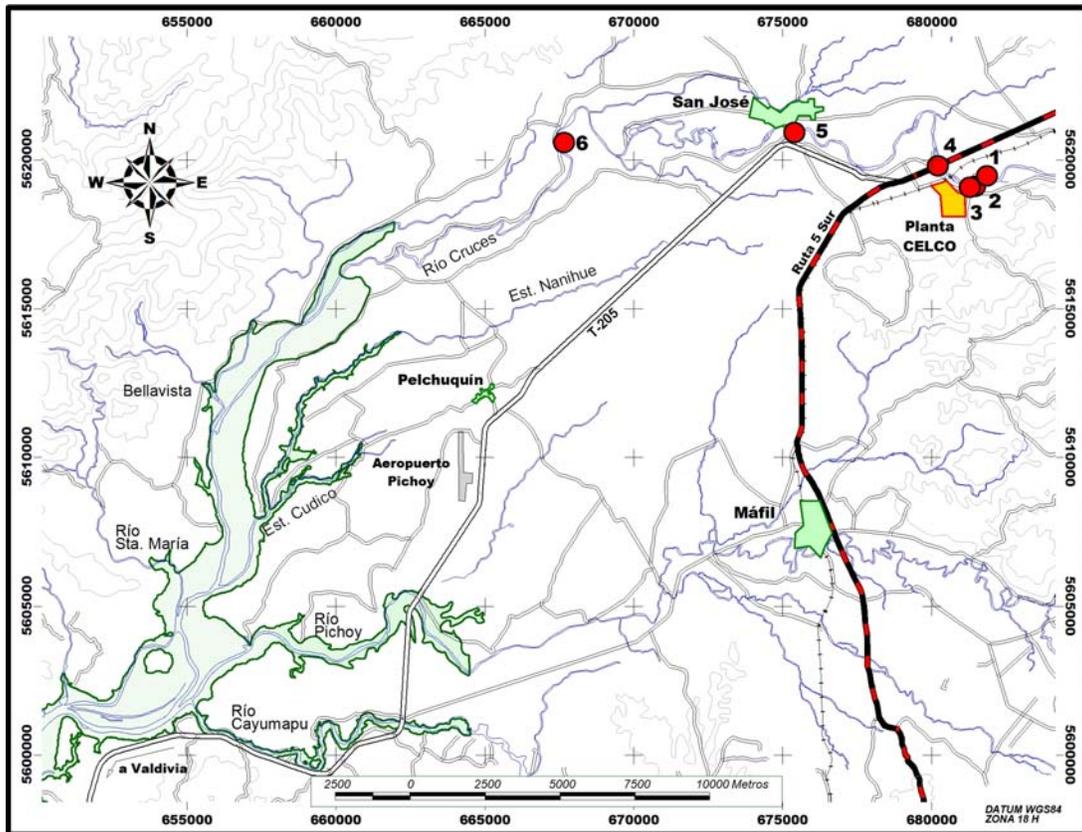


Figura 119. Ubicación de las seis estaciones de muestreo destinadas a la obtención de organismos de fondos ritrales. El sombreado en verde indica la delimitación del Santuario y sus tributarios.

Las estaciones de muestreo se situaron sobre sustrato de ripio grueso o bolones de 8 a 15 cm de diámetro, en la zona submarginal de rápidos y a una profundidad no mayor de 60 cm, que es el límite de alcance del brazo del operador para trabajar con el artefacto de muestreo (ver más adelante). El muestreo se realizó el 8 y 9 de Enero del 2005. La comunidad bentónica se muestreó cuantitativamente mediante red Surber de 900 cm² de área, dispuesta a contra-corriente (Hauer & Lamberty, 1996). Los clastos encerrados en el marco de 30 x 30 cm fueron frotados a mano en la boca de la red, lo que permitió que los animales removidos fueran arrastrados por la corriente dentro del artefacto. Se recolectaron tres réplicas en cada estación cubriendo una superficie total de 2700 cm² de fondo. El material fue fijado con alcohol 96%. En la Fotografía 11 se muestran vistas del entorno adyacente a las estaciones de muestreo.



Fotografía 11. Vista de las estaciones de muestreo seleccionadas para el estudio del bentos de fondos ritrales del río Cruces: 1 y 2) aguas arriba de bocatoma planta Valdivia de CELCO, 3) aguas del río cerca del efluente de CELCO, 4) Rucaco, 5) San José de la Mariquina, 6) Cahuincura (ver texto).

13.3. Metodologías para el análisis de las muestras

En el laboratorio los animales fueron separados y determinados hasta nivel de familia (Figuroa *et al.*, 2003), para luego ser contados con ayuda de microscopio binocular. La determinación taxonómica del material se basó principalmente en Fernández & Domínguez (2001). En el análisis de los datos (estadística básica, pruebas de normalidad de los datos, análisis de varianza y test *a posteriori*) se aplicaron rutinas del programa Microsoft® Office Excel 2003. La calificación de la calidad ambiental acuática se hizo por aplicación del Índice Biótico para nivel de familia (IBF) de Hilsenhoff (1988) (EPA, 1990). Este índice relaciona la abundancia de cada taxón con su respectivo valor de tolerancia a la contaminación. La calificación del sitio se obtiene de la $[[\text{Sumatoria de (N}^\circ \text{ individuos taxa} * \text{valor de tolerancia taxa)}] / \text{total individuos en la muestra}]$. Los tramos de la escala de valoración se indican en la Tabla 106:

Tabla 106. Tramos valorativos del Índice Biótico basados en familias de insectos anfibios (Hilsenhoff, 1988).

Índice Biótico	Condición
0.00 – 3.75	Excelente
3.76 – 4.25	Muy Buena
4.26 – 5.00	Buena
5.01 – 5.75	Regular
5.76 – 6.50	Menos que regular
6.51 – 7.25	Mala
7.26 – 10.00	Pésima

Se asignó el valor de tolerancia a nivel de familia basado en el documento Taxa Tolerance Values (Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, 2004) y en experiencias de terreno sobre la distribución de los representantes de las familias afectadas por diferentes condiciones de intervención o contaminación en la X Región de Chile.

13.4. Resultados

13.4.1. Situación actual

La comunidad de invertebrados bentónicos del río Cruces, en la fecha y tramo estudiado, estuvo compuesta por 31 taxa, entre familias y subfamilias (Tabla 107).

Tabla 107. Familias de invertebrados bentónicos de fondos ritrales recolectados en el Río Cruces, aguas arriba del Santuario. Se indica además el valor del Índice Biótico asignado a cada taxón (cf. Tabla 106).

Phylum	Clase	Orden	Familia	Subfamilia	Valor Indicador		
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	Tanypodinae	7		
				Chironominae	8		
				Orthocladinae	6		
				Diamesinae	7		
						Tipulidae	4
						Aterixidae	4
						Ceratopogonidae	8
				Ephemeroptera	Baetidae	5	
					Leptophlebiae	3	
				Plecoptera	Gryopterigidae	3	
				Trichoptera	Hydrobiosidae	2	
					Hydropsichide	5	
					Hydroptylidae	4	
			Glossosomatidae		3		
			Leptoceridae		5		
				Sericotomatidae	3		
			Coleoptera	Elmidae	4		
			Megaloptera	Corydalidae	5		
			Crustacea	Decapoda	Aeglidae	7	
		Isopoda		Janiridae	8		
		Amphipoda		Hyallellidae	8		
		Copepoda		Harpacticidae	8		
		Acari		Varias familias	6		
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Chilinidae	6			
			Amnicolidae	6			
			Ancylidae	6			
			Lumbricidae	6			
Annelida	Oligochaeta		Naididae	7			
			Tubificidae	9			
			Hirudinea	Glossiphonidae	6		

La abundancia global promedio de invertebrados bentónicos por estación, varió entre aproximadamente 11900 ind/m² (estación 1) y 28700 ind/m² (Estación 4) (Tabla

108, Fig. 120), coincidiendo la abundancia más alta con la estación ubicada aproximadamente 1500 m aguas abajo del efluente de CELCO en el río Cruces.

Tabla 108. Abundancia promedio y número de taxa de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del Río Cruces, aguas arriba del Santuario.

Estaciones	Promedio (ind / m ²)	N° taxa / estación
estación 1	11902.5 (3094.4)	18.0
estación 2	16061.4 (1457.2)	25.0
estación 3	13013.5 (1526.6)	26.0
estación 4	28698.4 (16503.3)	23.0
estación 5	23607.5 (6637.6)	18.0
estación 6	25280.2 (10909.4)	25.0

Si bien la abundancia total de los invertebrados bentónicos de los fondos ritrales estudiados fueron más altas en las estaciones 4, 5 y 6 (Tabla 108), los resultados de los análisis estadísticos (análisis de varianza y test a posteriori HSD “Honest Significant Difference”, Sokal & Rohlf, 1995) muestran que no ocurrieron diferencias significativas entre estaciones ($P > 0.05$).

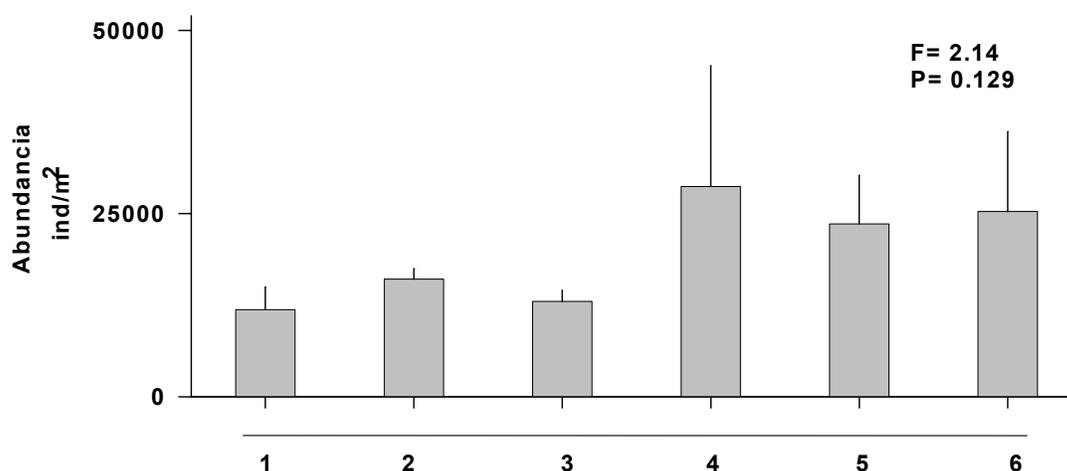


Figura 120. Abundancia total (ind/m²) de invertebrados bentónicos en los fondos ritrales del río Cruces, aguas arriba del Santuario. Se entregan los valores de F y P resultantes de los análisis de varianza. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$).

La riqueza taxonómica varió entre 18 (estación 1) y 26 (estación 3) taxa por estación (Tabla 109). La mayor riqueza taxonómica ocurrió en las estaciones 2 y 3, lo que evidencia buenas condiciones ambientales. La declinación de los números en las estaciones 4 y 5, sugiere un impacto por parte de los riles del efluente de CELCO, lo que es evidenciado por la subsecuente recuperación de la riqueza taxonómica en la estación 6.

La composición cuantitativa de la comunidad zoobentónica de invertebrados se muestra en la Tabla 94. Las abundancias individuales más altas correspondieron a Chironomidae Orthocladinae en la estación 4 (14.341 ind/m²) y a Trichoptera Hydropsichidae en la estación 5 (7.126 ind/m²). Los Orthocladinae son recolectores de sedimento, mientras que los Hydropsichidae son recolectores de materia orgánica particulada. Ello indica que el ambiente bentónico de esos sitios contiene abundante materia orgánica, ya sea como depósito inerte o como perilitofiton (comunidad de microalgas bentónicas adheridas a la superficie de los clastos del fondo del río).

Tabla 109. Abundancia de invertebrados bentónicos de fondos ritrales del Río Cruces, aguas arriba del Santuario. Los valores corresponden al promedio (ind/m²) y su desviación estándar en paréntesis.

Familia	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Estación 6
Tanypodinae *	19.8 (34.21)	18.5 (16.97)	38.3 (10.69)	23.5 (24.10)	16.0 (27.80)	51.8 (55.90)
Chironominae *	56.8 (2.14)	585.1 (348.21)	803.6 (133.47)	904.8 (716.90)	502.4 (291.40)	91.3 (130.41)
Orthocladinae *	744.4 (156.73)	5525.4 (1017.36)	3109.6 (517.34)	14340.5 (10206.70)	8678.1 (5732.70)	3049.1 (3257.30)
Diamesinae *	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	7.4 (12.63)	30.9 (26.80)	96.3 (166.80)	1024.6 (1365.80)
Tipulidae	111.1 (29.39)	392.6 (140.68)	275.3 (165.70)	548.1 (17.29)	585.1 (92.80)	223.4 (146.30)
Aterixidae	116.0 (67.51)	166.7 (40.06)	140.7 (80.40)	154.3 (137.30)	313.5 (271.40)	37.0 (37.00)
Baetidae	262.9 (106.76)	14.8 (16.97)	0.0 (0.00)	29.6 (51.30)	404.9 (372.60)	19.8 (18.60)
Leptophlebidae	2799.7 (657.18)	2114.6 (792.04)	549.3 (164.64)	2339.3 (865.0)	1446.8 (127.20)	1111.0 (489.90)
Grypopterigidae	111.1 (29.39)	222.2 (120.17)	111.1 (58.80)	293.8 (176.26)	696.2 (633.30)	746.8 (764.90)
Hydrobiosidae	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	22.2 (22.20)	0.0 (0.00)	18.5 (18.50)
Hydropsichide	6315.4 (2435.58)	2422.0 (120.07)	676.5 (884.60)	4563.7 (2712.70)	7126.4 (1760.30)	4899.5 (3106.90)
Hydroptylidae	3.7 (6.41)	18.5 (12.83)	101.2 (33.40)	14.8 (25.70)	16.0 (27.80)	13.6 (11.90)
Glossosomatidae	139.5 (138.58)	14.8 (12.83)	71.6 (55.47)	3.7 (6.40)	74.1 (128.30)	6.2 (10.70)
Leptoceridae	0.0 (0.00)	3.7 (6.41)	29.6 (51.31)	0.0 (0.00)	76.5 (74.20)	0.0 (0.00)
Sericotomatidae	0.0 (0.00)	7.4 (12.83)	1270.2 (1179.77)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	6.2 (10.70)
Elmidae	234.5 (85.84)	318.5 (65.10)	725.9 (253.90)	317.3 (148.90)	1865.2 (378.10)	892.5 (282.80)
Corydalidae	7.4 (12.83)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
Aeglidae	14.8 (25.66)	14.8 (16.97)	0.0 (0.00)	16.0 (27.80)	0.0 (0.00)	12.3 (12.30)
Janiridae	4.9 (8.55)	3.7 (6.41)	11.1 (19.20)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	6.2 (10.70)
Hyalelidae	0.0 (0.00)	3.7 (6.41)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
Harpacticidae	0.0 (0.00)	55.6 (76.97)	16.0 (14.00)	0.0 (0.00)	24.7 (42.80)	16.0 (19.00)
Acari **	135.8 (26.79)	1196.2 (42.06)	1112.2 (75.90)	1075.2 (340.80)	448.1 (413.40)	214.8 (110.60)
Chiliniidae	0.0 (0.00)	7.4 (12.83)	3.7 (6.40)	3.7 (6.40)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
Amnicolidae	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	29.6 (51.50)	14.8 (25.70)	0.0 (0.00)	3.7 (6.40)
Ancylidae	0.0 (0.00)	144.4 (96.85)	167.9 (30.20)	44.4 (44.40)	302.4 (337.60)	35.8 (37.10)
Lumbricidae	0.0 (0.00)	14.8 (12.83)	21.0 (27.30)	64.2 (111.20)	0.0 (0.00)	16.0 (19)
Naididae	775.2 (419.02)	2562.7 (1556.25)	2938.0 (1158.9)	3525.6 (2680.50)	135.8 (235.20)	8957.1 (1101.20)
Tubificidae	0.0 (0.00)	177.8 (96.85)	262.9 (266.7)	51.8 (46.30)	0.0 (0.00)	35.8 (37.10)
Glossiphonodae	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	177.8 (307.9)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)

* subfamilia de la familia Chironomidae, ** Corresponden a varias familias

De los 31 taxones (familias y subfamilias) constituyentes de la comunidad de invertebrados bentónicos del área de estudio, sólo cuatro destacan como numéricamente dominantes, acumulando en conjunto más del 50% de la densidad en cada estación: Chironomidae, Ephemeroptera, Trichoptera y Oligochaeta (Naididae y Tubificidae).

Los Chironomidae estuvieron presentes en todas las estaciones de muestreo, con una tendencia a mostrar valores más altos de abundancia desde la estación 4 a la 6 (Fig. 121). Sin embargo, en general no se encontraron diferencias significativas entre estaciones de muestreo, con un patrón similar para Trichoptera, Ephemeroptera, Naididae y Tubificidae (Fig. 121).

Las abundancias de Trichoptera y Ephemeroptera declinaron progresivamente desde la estación 1 hasta la estación 3, para recuperarse hacia las estaciones inferiores. Estos insectos son, en general, reconocidos como poco tolerantes a la contaminación orgánica por ser exigentes de aguas oxigenadas y escasa cantidad de partículas en suspensión. La significativa declinación de las abundancias de Ephemeroptera en la estación 3 probablemente se relaciona con el efecto inmediato del efluente y con el arrastre visible de partículas fibrosas que se depositan en el fondo del río formando conglomerados semejantes a madejas (observaciones de terreno). Los Oligochaeta, en particular Naididae y Tubificidae, son organismos que abundan donde la acumulación de materia orgánica particulada es alta. Los gusanos se entierran en el sedimento rico en materia orgánica, consumiendo el material depositado y las bacterias asociadas a su descomposición. Los Tubífidos son particularmente tolerantes a la baja concentración de Oxígeno disuelto en el agua.

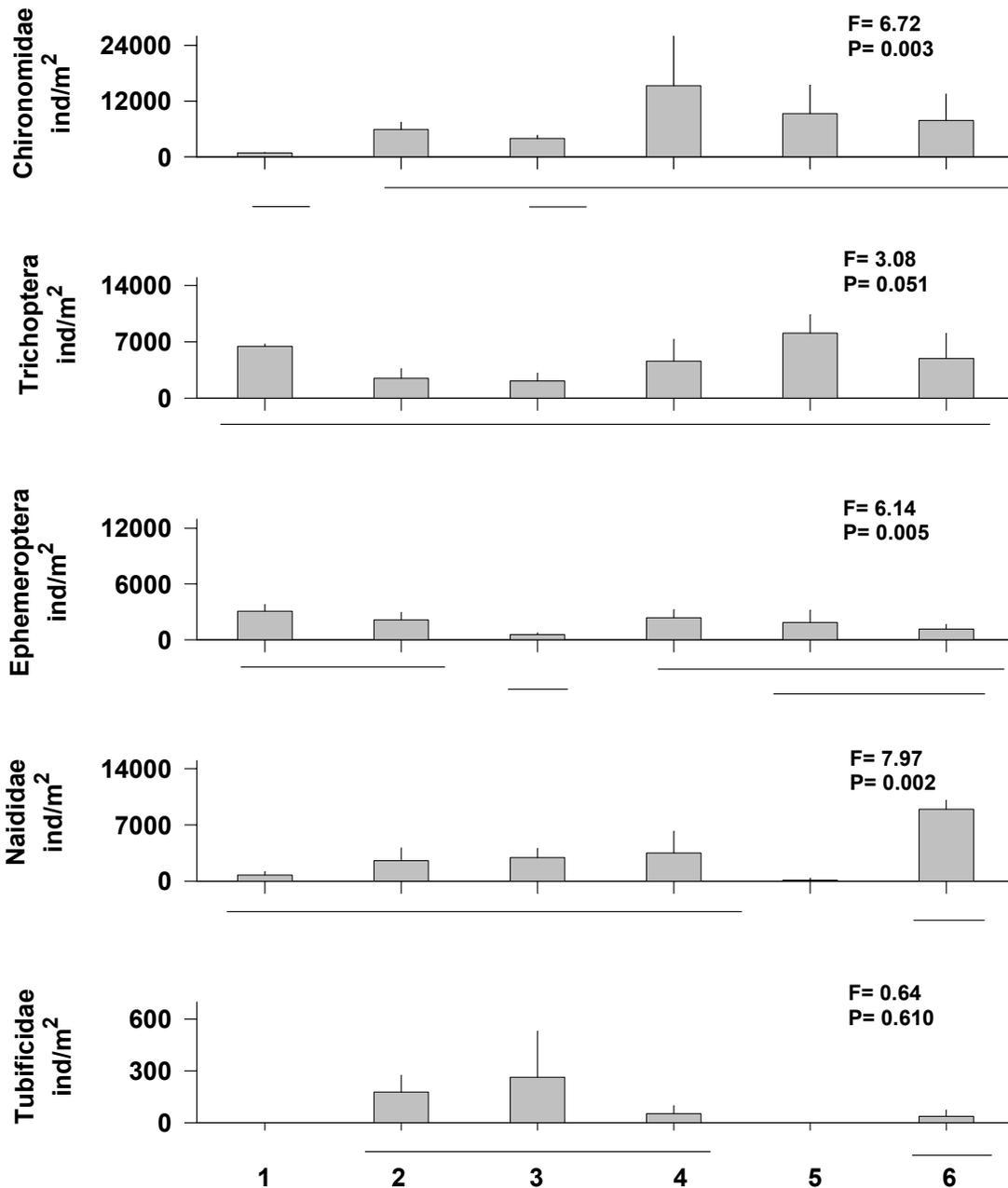


Figura 121. Abundancia total (ind/m²) de familias de insectos y oligoquetos (Naididae y Tubificidae) en fondos ritrales del río Cruces, aguas arriba del Santuario. Se entregan los valores de F y P resultantes de los análisis de varianza. Las líneas unen promedios que no difieren significativamente entre sí (P>0.05).

Los Chironomidae son una familia de dípteros que agrupa una serie de subfamilias y especies con un amplio espectro de tolerancias ambientales. Sin

embargo, se reconoce que una parte importante de la diversidad de quironómidos se asocia con situaciones ambientales en las cuales abunda la materia orgánica porque muchas especies son consumidores de depósito o colectores. De allí que a los Chironomidae se los considere como buenos indicadores de calidad ambiental (Rabeni & Wang, 2001).

En el presente caso, los Chironomidae aparecen en cinco de las seis estaciones mayoritariamente representados por Orthocladinae, una subfamilia a la que se le asigna tolerancia moderada a la contaminación orgánica o a la eutroficación (valor de tolerancia 6). Sólo en la estación 6 aparece la subfamilia Diamesinae como numéricamente importante (36.6%), reemplazando en cierta medida a Orthocladinae (60.1%) (Tabla 110). A Diamesinae se le asigna un valor de tolerancia 7, mayor que el de Orthocladinae. La mayor incidencia de Diamesinae en la estación 6 establece una diferencia cualitativa importante y hace presumir que se asocie a un tipo de contaminación orgánica de diferente naturaleza que la que ocurre aguas arriba de ese sitio.

Los Chironominae son un conjunto de especies que en general se asocian a condiciones de intensa acumulación de materia orgánica en descomposición y al menos las especies del género *Chironomus* toleran condiciones de muy baja disponibilidad de Oxígeno disuelto. Por ello su presencia indica condiciones de contaminación orgánica severa. En el presente caso los Chironominae no son numéricamente dominantes en ninguna de las estaciones pero sí son más abundantes en la estación 3, donde representan el 20.3% de la población de Chironomidae. Esta situación se interpreta como resultado directo del efecto del efluente de CELCO, ubicado no más de 200 m río arriba del punto en que se tomaron las muestras de zoobentos.

Tabla 110. Representación porcentual de las subfamilias de Chironomidae en fondos ritrales del Río Cruces, aguas arriba del Santuario.

Estaciones	Tanypodinae	Chironominae	Ortocladinae	Diamesinae
estación 1	2.8 (4.9)	7.1 (1.3)	90.1 (6.2)	0.0 (0.0)
estación 2	0.3 (0.2)	9.1 (4.4)	90.6 (4.6)	0.0 (0.0)
estación 3	1.0 (0.4)	20.3 (1.5)	78.5 (1.9)	0.2 (0.3)
estación 4	0.3 (0.2)	5.2 (3.6)	94.4 (3.7)	0.2 (0.2)
estación 5	0.1 (0.2)	6.6 (3.1)	92.6 (3.1)	0.7 (1.2)
estación 6	1.8 (2.1)	1.5 (1.8)	60.1 (52.3)	36.6 (51.7)

La calidad del ambiente acuático, estimada a través del Índice Biótico de Hilsenhoff, indica que existe diferencia entre la estación 1 y las restantes río abajo (Tabla 111). La condición más deteriorada se encontró en la estación 6, varios kilómetros río abajo del efluente de CELCO, lo que sugiere que tal deterioro ambiental podría tener origen en una combinación de factores que no depende directamente del efecto de ese efluente.

Tabla 111. Estimación de la calidad ambiental en el río Cruces, aguas arriba del Santuario.

Estaciones	Índice Biótico	Calificación
estación 1	4.7	Buena
estación 2	5.5	Regular
estación 3	5.7	Regular
estación 4	5.7	Regular
estación 5	5.2	Regular
estación 6	5.9	Menos que regular

13.4.2. Comparaciones históricas

Se omiten en este análisis comparaciones históricas, debido a las razones que se exponen a continuación. Este tipo de análisis tiene como referente obligado el Informe de Línea de Base de CELCO, que data de 1995. Sin embargo, en aquella oportunidad el estudio de los organismos bentónicos se realizó empleando una draga Emery, en tanto que el estudio reciente se realizó muestreando con red Surber. Este hecho determina que la información obtenida en 1995, no es metodológica ni

conceptualmente comparable con la recogida en 2005. Por su naturaleza, la draga no puede trabajar sobre sustrato duro y menos aún sobre bolones de 10 a 15 cm de diámetro, como sí lo hace la red Surber. Por lo tanto, los datos de 1995 se refieren necesariamente, a sitios con sustrato blando y por lo tanto a una comunidad de invertebrados bentónicos diferente a la registrada con red Surber.

13.5. Conclusiones

- i) La distribución espacial de la riqueza taxonómica y densidad de la comunidad de invertebrados bentónicos en el río Cruces, aguas arriba del Santuario, indican que el efluente de la Planta Valdivia de CELCO, tiene efectos demostrables sobre este grupo de organismos.
- ii) La distribución espacial y dominancia numérica de los grupos taxonómicos Insecta Díptera Chironomidae, Ephemeroptera, Tricóptera y Oligochaeta Tubificidae, indican que el impacto del efluente es de tipo eutroficante o inductor de enriquecimiento de materia orgánica en el ambiente bentónico. Sin embargo, la riqueza relativamente alta de especies en todas las estaciones, indica que tal impacto no alcanza efectos deletéreos sobre la comunidad bentónica. Por el contrario, la contaminación derivada del vertido del efluente industrial al río induce un aumento de la densidad de organismos aguas abajo del efluente.
- iii) Los valores obtenidos para el Índice Biótico de Hilsenhoff indican que la calidad ambiental del área difiere entre la Estación 1 y el área de impacto (Estaciones 3 a 6), evidenciándose un deterioro moderado de las condiciones río abajo del punto de entrada del efluente al río.

Referencias

- ANGELIER E (2003) Ecology of Streams and Rivers. Science Publishers, Inc. Enfield (NH), USA. 215 pp
- ARENAS J (1993) Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua del río Bío-Bío, Chile. Tesis de Doctorado, Centro Eula, Universidad de Concepción, Chile. 176 pp.
- FERNANDEZ HR & E DOMÍNGUEZ (2001) Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán en Ciencias Exactas y Naturales. Editorial Universitaria de Tucumán, Aegentina. 280 pp.
- FIGUEROA R, C VALDOVINOS, E ARAYA & O PARRA (2003) Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en ríos del Sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 76:275-285.
- GILLER PS & B MALMQVIST (1998) The Biology of Streams and Rivers. Oxford University Press. 296 pp.
- HAUER F & G LAMBERTY (1996) Methods in Stream Ecology. Academic Press, New York, USA. 674 pp.
- HILSENHOFF W (1988) Rapid field assesment of organic pollution with a family level biotic index. Journal of the North American Benthological Society 7:65-68.
- HYNES HBN (1970) The Ecology of Running Waters. Liverpool University Press. 555 pp.
- HYNES HBN (1965) The Biology of Polluted Waters. Liverpool University Press. 202 pp.
- ROSENBERG DM & VH RESH (1993) Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York, USA. 488 pp.
- SOIL & WATER CONSERVATION SOCIETY OF METRO HALIFAX (2004) Taxa Tolerance Values. (<http://lakes.chebucto.org/ZOOBENTH/BENTHOS/tolerance.html>).
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1990) Macroinvertebrate Field and Laboratory Methods for Evaluating the Biological Integrity of Surface Waters. Office of Research and Development. EPA/600/4-90/030. Washington DC 20460, USA.

14. Ictiofauna

14.1. Antecedentes

La abundancia y riqueza de especies de peces y vertebrados afines (por ejemplo, los Ciclóstomos) de un cuerpo hídrico, representan adecuados indicadores de la calidad ambiental del mismo. Con el objetivo de evaluar la composición taxonómica, abundancia relativa y estructuras poblacionales de la ictiofauna del río Cruces aguas arriba del Santuario, se realizaron muestreos durante Enero del 2005 en cuatro áreas de esa porción del río.

Los peces constituyen un grupo animal de indiscutible relevancia, en cualquier cuerpo de agua que habiten, ya sea porque se constituyen en depredadores, presas u otro eslabón de la cadena trófica, o porque su presencia, abundancia u otra característica signifiquen algún rasgo distintivo para determinados ambientes. Además, los peces suelen ser considerados como indicadores de normalidad/anormalidad de las condiciones ambientales del habitat.

14.2. Metodologías para la obtención de las muestras

Los lugares de captura correspondieron a sitios donde la profundidad no excedió los 2 m. Se realizaron muestreos durante los días 10, 14 y 20 de Enero del 2005. En la Figura 122 se muestra la ubicación de los cuatro sitios o estaciones en el río Cruces donde se recolectaron muestras de peces. Una estación de muestreo se ubicó aproximadamente 100 m aguas arriba de la zona de descarga de los riles de la planta de CELCO, en la comuna de San José de la Mariquina (estación 1). La segunda estación de muestreo se ubicó en el sector del río aledaño al puente Rucaco (estación 2; aproximadamente 1.6 km aguas abajo de la primera estación). La tercera estación se ubicó en la ribera del río aledaña a San José de la Mariquina y aproximadamente 200 m aguas arriba del puente Cruces, a la vez que la cuarta estación se ubicó en el sector Cahuincura, aproximadamente 3 km aguas arriba del Fuerte San Luis a la entrada del Santuario (Fig. 122). La Tabla 112 muestra las coordenadas de esas cuatro estaciones.

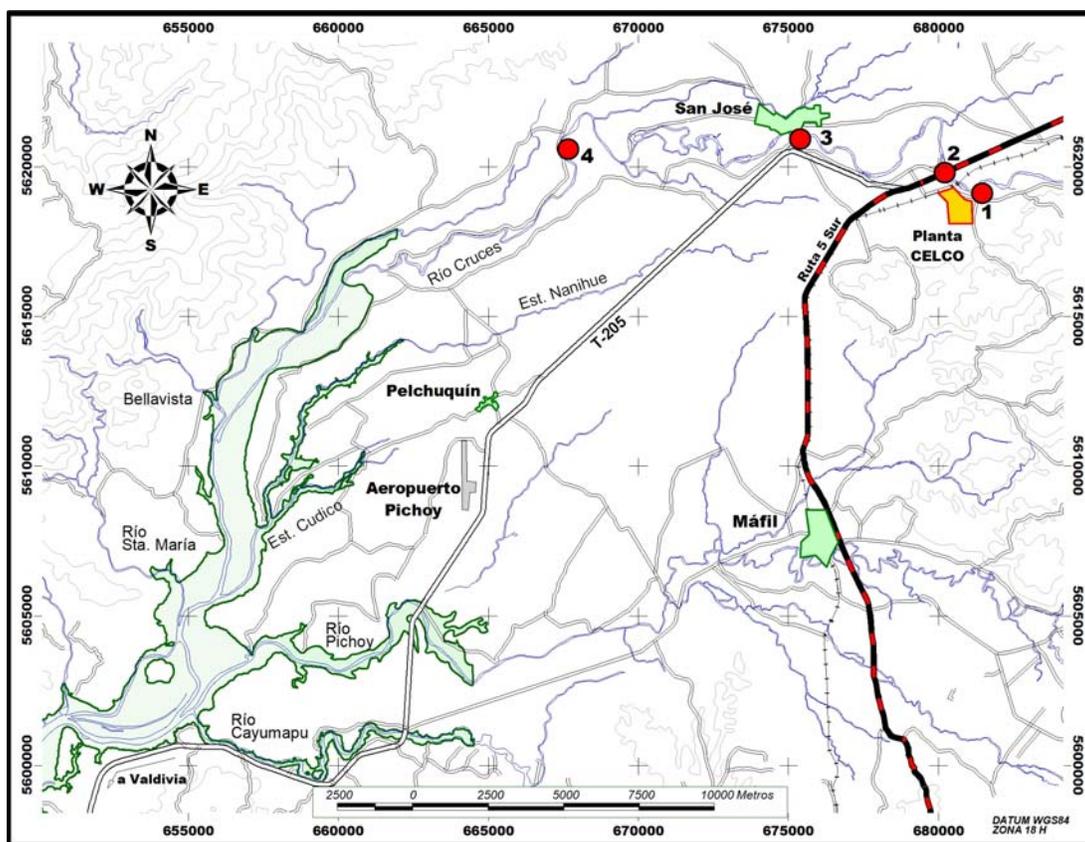


Figura 122. Ubicación de las cuatro estaciones de muestreo destinadas a la obtención de peces. El sombreado en verde indica la delimitación del Santuario y sus tributarios.

Tabla 112. Coordenadas en sistema sexagesimal y UTM de las estaciones donde se recolectaron peces en el río Cruces, aguas arriba del Santuario (grilla de referencia de conversión en UTM: 184 x b4533604584).

Estaciones	Sexagesimal		UTM	
estación 1	39°33'51.9''S	072°53'26.3''W	675233 E	5664115 N
estación 2	39°33'16.4''S	072°54'14.7''W	676818 E	5615030 N
estación 3	39°32'61.8''S	072°57'52.7''W	674887 E	5620078 N
estación 4	39°32'88.8''S	073°02'92.5''W	666758 E	5619425 N

La captura de peces se realizó con aparatos para pesca eléctrica, con ayuda de redes de diferente trama de malla (redes de mano de malla fina y otras mayores de 25 y 32 mm de trama). La fijación de los individuos se realizó en el mismo lugar de captura, con alcohol de 70°.

Las redes fueron un apoyo para extraer los peces, más que un arte de captura en sí mismas, debido a que por las características de los sitios de estudio (profundidad variable pero a veces muy escasa, fondo disparejo, etc.), no constituyen el instrumento metódico más adecuado y eficiente de captura. En aguas dulces, con poca profundidad (con piedras, restos duros de vegetales y otros obstáculos poco visibles) y con las características de los sitios estudiados, la pesca eléctrica tiene ventajas sobre otros métodos.

14.3. Metodología para el análisis de las muestras

Los peces fueron preclasificados individuo por individuo, en las posibles especies de su pertenencia, de acuerdo con la morfología externa. Luego, cada lote considerado de una especie, fue analizado taxonómicamente sobre la base de su morfología externa, recurriendo a la literatura especializada (Arratia, 1981, 1987; Campos, 1982, 1984; Campos y Gavilán, 1996; Campos *et al.*, 1993; De Buen, 1958, 1959, 1961; Dyer, 1997; Dyer y Gosztonyi, 1999; Eigenmann, 1927; McDowall, 1971; Neira, 1984; Pequeño, 1981; Ruiz, 2004). Con el objetivo de confirmar las hipótesis de asignación específica, se utilizó la colección de peces de agua dulce, del Instituto de Zoología de la UACH.

Cada individuo fue medido en su longitud total (LT) en mm, aprovechando la circunstancia que prácticamente todos los ejemplares se encontraban en muy buen estado. Así se pudieron conocer los rangos de tallas por especie; posteriormente, se calculó el porcentaje de individuos asignados a cada rango de talla y se procedió a confeccionar histogramas de clases de talla.

Finalmente, se comparan los resultados de este estudio con los datos entregados en la Línea Base de CELCO a fin de evaluar eventuales diferencias temporales en la composición de la ictiofauna.

14.4. Resultados

14.4.1. Composición de la ictiofauna

En total se recolectaron representantes de 13 especies de peces (Tabla 113).

Tabla 23. Lista de las especies de peces y vertebrados afines (lamprea) recolectados en las riberas del río Cruces, aguas arriba del Santuario.

Nombre científico	Nombre común
<i>Diplomystes chilensis</i> (Molina, 1782)	Tollo, tollo de agua dulce, bagre de agua dulce.
<i>Trichomycterus areolatus</i> Valenciennes, 1848	Bagre de agua dulce
<i>Salmo trutta</i> Linnaeus, 1758	Trucha, trucha de lago (*)
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)	Trucha arco iris, trucha cabeza de acero (**)
<i>Galaxias maculatus</i> (Jenyns, 1842)	Puye, puye común
<i>Galaxias platei</i> Steindachner, 1898	Puye, puye grande
<i>Brachygalaxias bullocki</i> (Regan, 1908)	Puye de Bullock
<i>Cauque mauleanum</i> (Steindachner, 1896)	Cauque
<i>Cheirodon australe</i> Eigenmann, 1927	Pocha, pochita
<i>Cheirodon galusdae</i> Eigenmann, 1927	Pocha
<i>Basilichthys australis</i> Eigenmann, 1927	<i>Pejerrey, pejerrey cauque</i>
<i>Gambusia affinis holbrooki</i> (Girard, 1859)	Gambusia, pez mosquito
<i>Percichthys trucha</i> (Valenciennes, 1833)	Trucha, trucha chilena, trucha criolla, perca trucha
<i>Geotria australis</i> Gray, 1851	Lamprea de bolsa, lamprea de agua dulce.

14.4.2. Situación actual

En todos los casos, los ejemplares recolectados mostraron una morfología exterior normal, pudiendo ser taxonómicamente reconocidos sin dificultades, con el apoyo de material comparativo de las colecciones de peces del Instituto de Zoología “Ernst F. Kilian” y literatura especializada.

La Tabla 114 muestra los valores de abundancia relativa, número de taxa e Índice de diversidad de Shannon Wiener de la ictiofauna recolectada durante cada uno

de los muestreos. El número de taxa fue similar entre las distintas estaciones de muestreo durante los tres muestreos realizados y fluctuó entre 5 y 8 especies. Un patrón similar se registró para la abundancia relativa total de organismos, los cuales presentaron en general valores similares entre las diferentes estaciones durante las diferentes fechas de muestreo. Los valores de abundancia relativa total por estación fluctuaron entre 124 individuos (estación 1 durante el 14 de Enero) y 370 individuos (estación 3 durante el 10 de Enero) (Tabla 114). El Índice de diversidad de Shannon Wiener, mostró los valores más bajos en la estación 1 durante todos los muestreos. Los valores más altos de este índice se registraron en la estación 2 durante el muestreo realizado el 10 de Enero y en la estación 4, durante el muestreo realizado el 14 de Enero.

En la estación 1, la especie que aparece con mayor abundancia relativa fue *Percichthys trucha* en dos de los tres muestreos, ya que en el tercero la especie más abundante fue *Galaxias maculatus*. Esto tiene alguna similitud con el estudio de Línea Base, donde se encontró que la especie más abundante en el lugar había sido *Galaxias maculatus*, seguida por *Percilia gillissi*. En las estaciones 2, y 3, las abundancias relativas más altas se alternan entre *Galaxias maculatus* y *Percichthys trucha*, a la vez que en la estación 4 la especie dominante en todos los muestreos fue *Galaxias maculatus* seguida de *Percichthys trucha* (Tabla 114).

Tabla 114. Lista de especies y abundancias de peces en las estaciones de muestreo estudiadas en el río Cruces, aguas arriba del Santuario. Se incluyen los datos de la Línea Base de CELCO recolectados durante Julio y Diciembre de 1995 (LB1 y LB2, respectivamente) para la estación 1 y de Julio del mismo año para las estaciones 3 y 4. No hay datos comparables para la estación 2.

	Estación 1									
	10/01/05		14/01/05		21/01/05		LB1		LB2	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
<i>Geotria australis</i>	1	0.37			1	0.38			9	56.25
<i>Diplomystes chilensis</i>										
<i>Trichomycterus areolatus</i>	8	2.96	35	28.23	44	16.73			3	18.75
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	2	0.74	3	2.42	1	0.38			1	6.25
<i>Salmo trutta</i>										
<i>Brachygalaxias</i> sp.										
<i>Galaxias maculatus</i>	11	4.07	5	4.03	159	60.46	45	76.27	3	18.75
<i>Galaxias platei</i>										
<i>Basilichthys australis</i>	32	11.85			4	1.52				
<i>Cauque mauleanum</i>										
<i>Cheirodon australe</i>	1	0.37					2	3.39		
<i>Cheirodon galusdae</i>			1	0.81	1	0.38				
<i>Percichthys trucha</i>	215	79.63	80	64.52	53	20.15	2	3.39		
<i>Percilia gillissi</i>							10	16.95		
n° de especies	7		5		7		4		4	
n° de individuos	270		124		263		59		16	
Diversidad Shannon & Wiener	0.33		0.39		0.46		0.32		0.49	

Continuación Tabla 114.

	Estación 2					
	10/01/05		14/01/05		21/01/05	
	N	%	N	%	N	%
<i>Geotria australis</i>	3	0.92			1	0.76
<i>Diplomystes chilensis</i>					2	1.53
<i>Trichomycterus areolatus</i>	82	25.15	50	22.03	30	22.90
<i>Oncorhynchus mykiss</i>			4	1.76	1	0.76
<i>Salmo trutta</i>	2	0.61	1	0.44		
<i>Brachygalaxias</i> sp.						
<i>Galaxias maculatus</i>	98	30.06	28	12.33	45	34.35
<i>Galaxias platei</i>						
<i>Basilichthys australis</i>	88	26.99	35	15.42	2	1.53
<i>Cauque mauleanum</i>						
<i>Cheirodon australe</i>						
<i>Cheirodon galusdae</i>			3	1.32	1	0.76
<i>Percichthys trucha</i>	53	16.26	106	46.70	49	37.40
<i>Percilia gillissi</i>						
n° de especies	6		7		8	
n° de individuos	326		227		131	
Diversidad Shannon & Wiener	0.62		0.60		0.57	

	Estación 3							
	10/01/05		14/01/05		21/01/05		LB1	
	N	%	N	%	N	%	N	%
<i>Geotria australis</i>	1	0.27					2	8.00
<i>Diplomystes chilensis</i>								
<i>Trichomycterus areolatus</i>	43	11.62	19	7.60	36	16.29		
<i>Oncorhynchus mykiss</i>			1	0.40	1	0.45		
<i>Salmo trutta</i>							1	4.00
<i>Brachygalaxias</i> sp.								
<i>Galaxias maculatus</i>	154	41.62	82	32.80	95	42.99		
<i>Galaxias platei</i>							19	76.00
<i>Basilichthys australis</i>	129	34.86	65	26.00	38	17.19		
<i>Cauque mauleanum</i>								
<i>Cheirodon australe</i>								
<i>Cheirodon galusdae</i>	3	0.81						
<i>Percichthys trucha</i>	40	10.81	83	33.20	51	23.08		
<i>Percilia gillissi</i>							3	12.00
n° de especies	6		5		5		4	
n° de individuos	370		250		221		25	
Diversidad Shannon & Wiener	0.56		0.56		0.58		0.34	

Continuación Tabla 114

	Estación 4						LB 1	
	10/01/05		14/01/05		21/01/05		N	%
	N	%	N	%	N	%		
<i>Geotria australis</i>	5	2.37	8	2.64	2	0.98	6	14.29
<i>Diplomystes chilensis</i>			6	1.98	2	0.98		
<i>Trichomycterus areolatus</i>	4	1.90	21	6.93	15	7.35		
<i>Oncorhynchus mykiss</i>			2	0.66			2	4.76
<i>Salmo trutta</i>								
<i>Brachygalaxias</i> sp.	2	0.95						
<i>Galaxias maculatus</i>	144	68.25	122	40.26	103	50.49	31	73.81
<i>Galaxias platei</i>								
<i>Basilichthys australis</i>	16	7.58	63	20.79	13	6.37		
<i>Cauque mauleanum</i>							2	4.76
<i>Cheirodon australe</i>								
<i>Cheirodon galusdae</i>					2	0.98		
<i>Percichthys trucha</i>	40	18.96	81	26.73	67	32.84		
<i>Percilia gillissi</i>							1	2.38
n° de especies	6		7		7		5	
n° de individuos	211		303		204		42	
Diversidad Shannon & Wiener	0.43		0.63		0.53		0.38	

Las Figuras 123, 124 y 125 muestran los histogramas de frecuencia de clases de talla de *Percichthys trucha*, *Galaxias maculatus* y *Basilichthys australis*, las especies más comunes en el área de estudio. A continuación se comentan esos histogramas para cada especie y fecha de muestreo.

Percichthys trucha

La trucha del país mostró, en los tres muestreos efectuados y en todos los lugares de muestreo (13 muestras en total), individuos de tallas inferiores a 70 mm, es decir, todos juveniles, con excepción de los muestreos de los días 14 y 20 de Enero en el lugar ubicado antes de los efluentes, donde aparecieron un individuo en cada caso, ligeramente por sobre los 70 mm de longitud total (LT).

Galaxias maculatus

El puye estuvo representado tanto por individuos adultos, como juveniles. Los adultos se destacaron principalmente en la estación puente Rucaco, en la cual hubo ejemplares que alcanzaron y superaron los 80 mm de LT. En tanto que los juveniles, especialmente aquellos alrededor e inferiores a 40 mm LT, estuvieron presentes en casi todos los muestreos realizados, con la sola excepción de aquel del día 14 de Enero en el lugar antes del efluente de la planta de celulosa.

Basilichthys australis

Esta especie de pejerrey de agua dulce, al igual que las anteriores, mostró únicamente juveniles, habiendo sólo un individuo superado ligeramente los 70 mm LT, en la estación de muestreo de San José de la Mariquina, el día 10 de Enero.

Estos resultados indican que formas frágiles, como son los juveniles de peces, están circulando sin aparentes problemas en los lugares muestreados. Obviamente, la

presencia de juveniles como los señalados en los gráficos, responden a uno o más procesos reproductivos relativamente recientes. La ausencia de ejemplares grandes puede deberse a varias razones, como por ejemplo, su mayor resistencia a la pesca eléctrica, su mayor capacidad de escape a perturbaciones como lanchas, la posibilidad que prefieran otros lugares dentro de los cuerpos de aguas adyacentes, etc.

Solamente *Galaxias maculatus* estuvo ausente en tallas inferiores a 20 mm LT, en tanto las otras dos especies aparecen con frecuencia con tallas iguales o inferiores a esa medida en un número relativamente alto de sitios y fechas de muestreos. En todo caso, la presencia de los llamados “juveniles transparentes” de *G. maculatus*, está indicando que se trata de individuos de menos de un año de edad y, por lo tanto habría existido un primer reclutamiento a ese estado de su ciclo de vida. Por otro lado, las otras dos especies, dadas las tallas tan pequeñas mencionadas y apreciables en los gráficos, muestran igualmente señas de haberse producido un reclutamiento a los primeros cardúmenes que estas especies forman.

10 de Enero del 2005

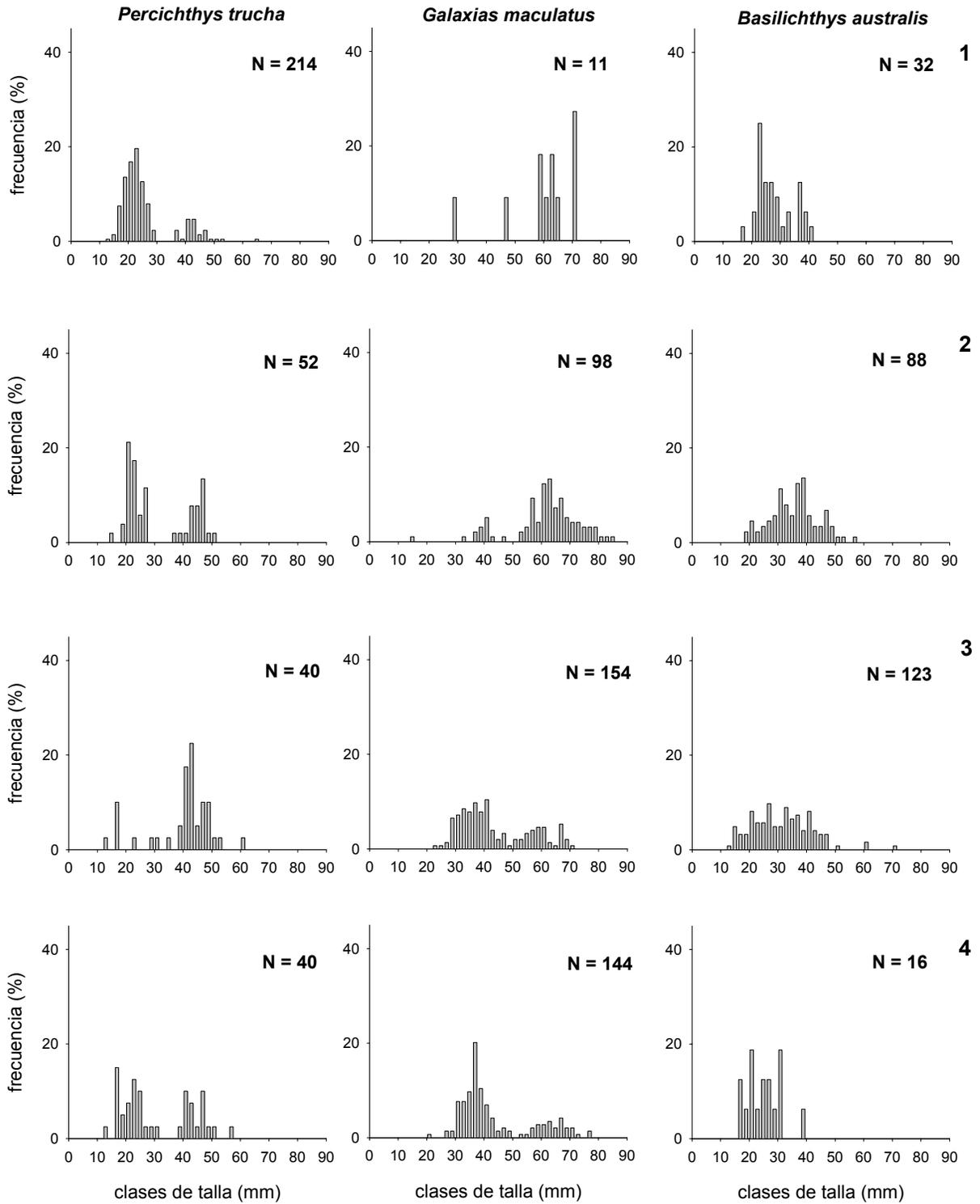


Figura 123. Distribución de clases de talla de los peces más comunes recolectados el 10 de Enero del 2005.

14 de Enero del 2005

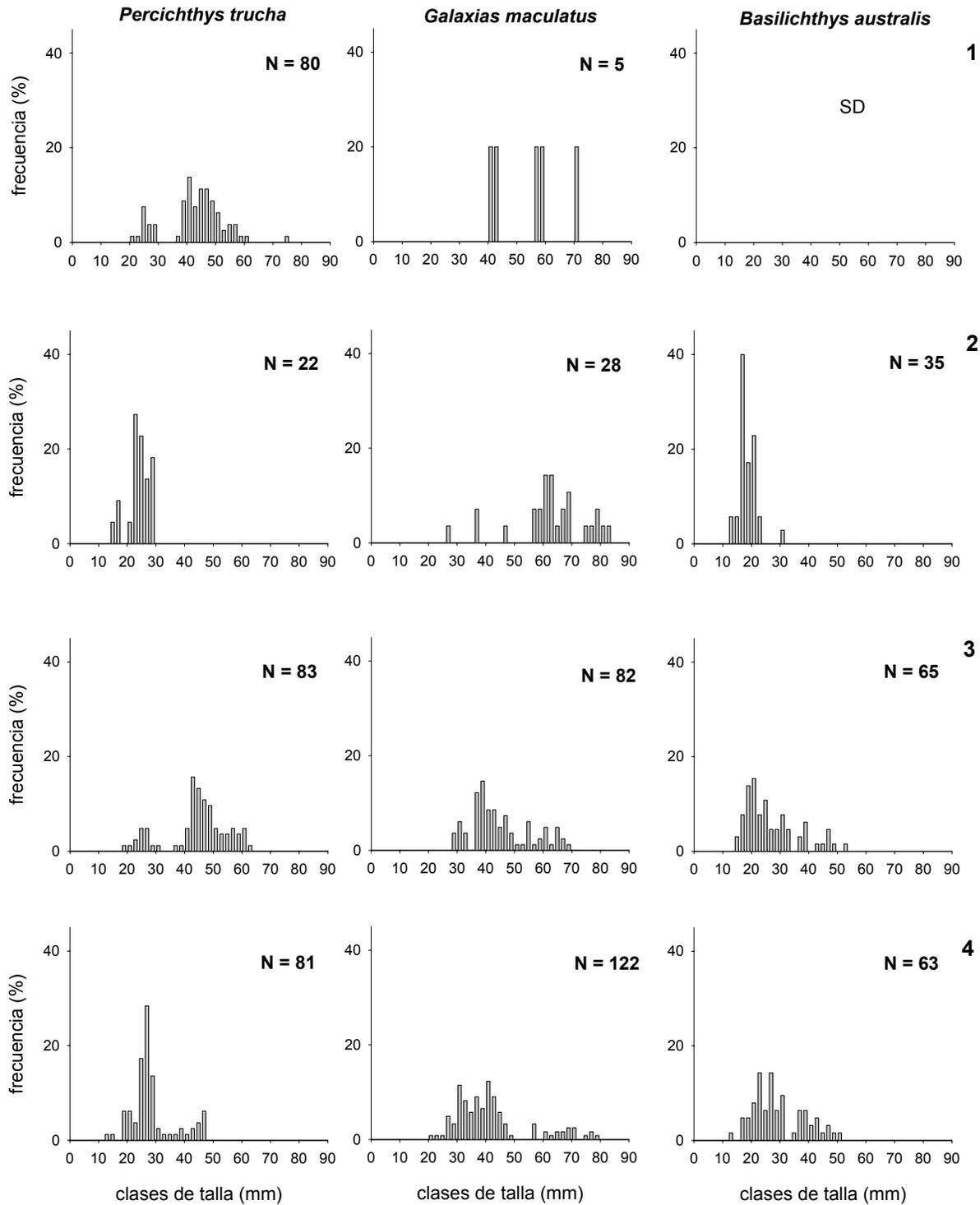


Figura 124. Distribución de clases de talla de los peces más comunes recolectados el 14 de Enero del 2005.

20 de Enero del 2005

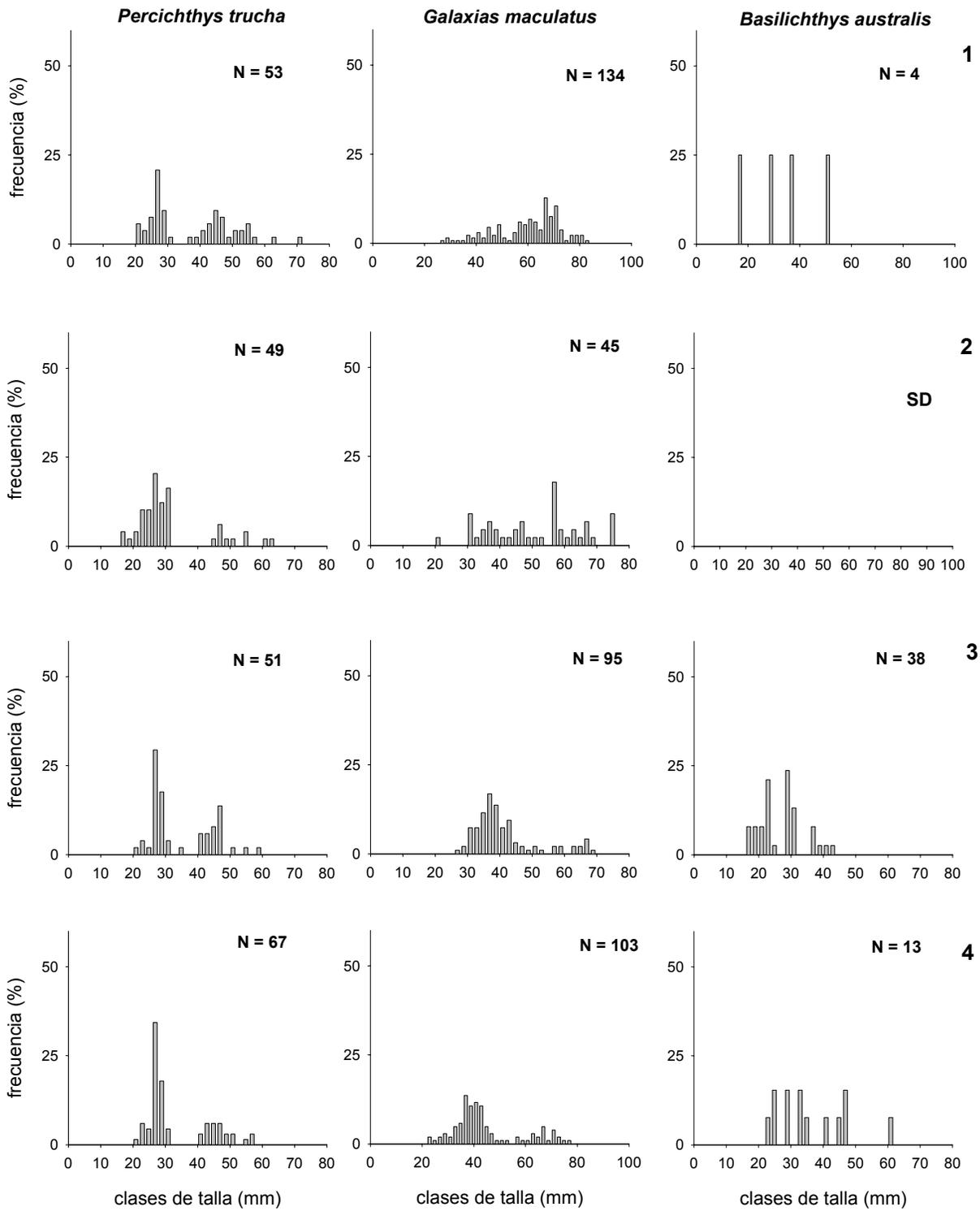


Figura 125. Distribución de clases de talla de los peces más comunes recolectados el 20 de Enero del 2005.

Algunas de las otras especies estudiadas presentaron también elevados porcentajes de juveniles tempranos, muchos estados de desarrollo previos a la maduración sexual, como sucedió con la “lamprea de bolsa” *Geotria australis*, que en todos los casos (22 señalados en Tabla 114) estuvo representada por estados metamórficos (“ammocoetes”). Igualmente, el “bagre de agua dulce” *Trichomycterus areolatus*, también mostró un alto porcentaje de individuos juveniles, algunos prácticamente post-larvales. Algo análogo se observó con la “trucha arco iris” *Oncorhynchus mykiss* y la “trucha café” *Salmo trutta*.

14.4.3. Comparaciones históricas

Al revisar la composición taxonómica de las especies encontradas en la Línea Base de CELCO con las del presente estudio, se encuentra que varias especies entonces registradas, no aparecieron en los nuevos muestreos y *viceversa*. Por ejemplo, en 1995 se registraron ejemplares de *Galaxias platei*, *Percilia gillissi* y *Cauque mauleanum*, que no están registrados en las estaciones de muestreo aquí analizadas (Tabla 114). En cambio, en los muestreos del presente estudio, aparecieron ejemplares de *Diplomystes chilensis*, *Brachygalaxias bullocki* y *Cheirodon galusdae*, que no fueron registradas en 1995.

Estas variaciones en los registros de unas y otras especies, pueden ser atribuidos a la movilidad de los peces y a posibles cambios estacionales o aún, cambios de largo plazo. También debe considerarse que se ha muestreado (tanto en 1995 como en el presente estudio) un sector restringido del río Cruces Santuario de la Naturaleza y, de haber muestreos con mayor cobertura geográfica, muy probablemente el número total de especies que habita en la zona aumente por sobre lo descrito.

Una de las diferencias más notorias entre los resultados de este estudio y los de la Línea Base de CELCO se refiere a los valores de abundancia relativa, ya que las abundancias estimadas durante Enero del 2005 fueron más altas que durante los muestreos de Julio y Diciembre de 1995 (Tabla 114). En relación al número de

especies, solo se encontraron diferencias en la estación 1 (mayor riqueza de taxa durante el 2005) (Tabla 114).

Durante el presente estudio, *Percichthys trucha* dominó en dos de los tres muestreos realizados en la estación 1; durante el muestreo de Julio de 1995, la especie dominante fue *Galaxias maculatus*, a la vez que durante el de Diciembre de 1995, el ciclóstomo *Geotria australis* tuvo la abundancia relativa más alta (Tabla 114).

Galaxias maculatus, *Basilichthys australis* y *Percichthys trucha* dominaron en la estación 3 durante el muestreo de Enero del 2005; durante Julio de 1995 la especie dominante en este sitio fue *Galaxias platei* seguida de *Percilia gillissi* (Tabla 114).

Los datos recolectados durante Enero del 2005, reiteran la mayor abundancia relativa de *Galaxias maculatus* y *Percichthys trucha* para la estación 4; durante Julio de 1995 la especie dominante en esta estación fue *Galaxias maculatus* (Tabla 114).

En cuanto a las especies nativas, se observa que entre el estudio de Línea Base y el presente estudio hay cuatro tipos de diferencias:

- i) La composición taxonómica de las especies es diferente. Esto puede deberse a diferentes factores, como por ejemplo, que tanto el estudio de Línea Base de CELCO, como el presente estudio, fueron realizados sobre la base de muestreos muy puntuales en el tiempo.
- ii) Los números de individuos capturados por especie y por estación o sitio de muestreo son diferentes. Si bien es cierto, cuando hubo presencia de las mismas especies y en los mismos sitios de muestreo, en ambos estudios, los números de individuos capturados no fueron los mismos en cada caso. Esto es esperable en cualquier estudio de este tipo: no solamente por la naturaleza de los peces (conducta, forma de distribuirse en el ambiente, etc.), sino por las fluctuaciones también naturales que

ocurren en las poblaciones. Al respecto, hay muchos factores que pueden influir, como por ejemplo, presencia de depredadores, variación en el alimento, cambios en sitios de refugio y variaciones físico-químicas de las aguas.

- iii) En el estudio de Línea Base de CELCO no se realizaron análisis detallados de las tallas de los individuos capturados. El dato mediante el cual se podría obtener indirectamente la talla, es el peso total de los individuos por especie. Pero eso exige haber efectuado un estudio de la relación longitud-peso en cada caso, cosa que no fue realizada anteriormente. Por otra parte, el peso de los individuos pudo haber variado por especie (aumentando o disminuyendo), por una gran variedad de causas, tanto biológicas como ambientales físicas. Dado que no hay antecedentes al respecto, tales diferencias no se pueden estudiar, ni obviamente tampoco probar.

Al comparar los resultados de este estudio con aquellos de la Línea Base de CELCO, se observa que los valores para el número de taxa, para el número de individuos por especie así como para el Índice de diversidad de Shannon y Winner fueron más bajos durante Julio y Diciembre de 1995 (Tabla 114).

14.5. Conclusiones

Los estudios realizados en el río Cruces, aguas arriba del Santuario permiten concluir que:

- i) Un porcentaje importante de los peces capturados en los muestreos recientes, indica la presencia de juveniles. Tal presencia es también indicativa que esos peces han sido parte de un proceso reproductivo reciente y que en términos de agregarse a los grupos de tallas que constituyen los primeros cardúmenes en su ciclo de vida, han participado de un primer proceso de reclutamiento.

- ii) Las especies que mostraron una cierta abundancia relativa mayor que otras, se mantienen en el tiempo, solamente con algunas variaciones menores. Tales variaciones son normales y son de esperar.
- iii) Los muestreos recientes (2005), presentaron especies que no aparecieron en los estudios de Línea Base de CELCO. También hubo algunas especies capturadas en esos estudios, que no aparecieron en el presente análisis. Sin embargo, ello es también esperable, dado que los sectores muestreados en el estudio de esa Línea Base fueron relativamente restringidos.

Referencias

ARRATIA, G. 1981. Géneros de peces de aguas continentales de Chile. Museo Nacional de Historia Natural, Chile, Publicación Ocasional, 34: 1-108.

ARRATIA, G. 1987. Description of the primitive family Diplomystidae (Siluriformes, Teleostei, Pisces): morphology, taxonomy and phylogenetic implications. Bonner Zoologische Monographien N° 24. Zoologisches Forschungsinstitut und Museum Alexander Koenig Bonn.

CAMPOS, H. 1982. Sistemática del género *Cheirodon* (Pisces: Characidae) en Chile, con descripción de una nueva especie. Análisis de multivarianza. Studies in Neotropical Fauna and Environment, 17: 129-162.

CAMPOS, H. 1984. Los géneros de atherínidos (Pisces: Atherinidae) del sur de Sudamérica. Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Zoología, 13 (6): 71-84.

CAMPOS, H. y J. F. GAVILÁN. 1996. Diferenciación morfológica entre *Percichthys trucha* y *Percichthys melanops* (Perciformes: Percichthyidae) entre 36° y 41° L.S. (Chile-Argentina), a través de análisis multivariados. Gayana (Zoología), 60 (2): 99-120.

CAMPOS, H.; V. RUIZ, J.F. GAVILÁN y F. ALAY. 1993. Peces del río BíoBío. Programa Interuniversitario de Investigación Científica Aplicada y Formación (EULA), Universidad de Concepción, Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Bío Bío y del Area Marina Costera Adyacente, Serie Publicaciones de Divulgación, 5: 1-100.

DE BUEN, F. 1958. Ictiología. La familia Ictaluridae, nueva para la fauna aclimatada en Chile y algunas consideraciones sobre los Siluroidei indígenas. Investigaciones Zoológicas Chilenas, 4: 146-158.

DE BUEN, F. 1959. Los peces exóticos en las aguas dulces de Chile. Investigaciones Zoológicas Chilenas, 5: 103-137.

DE BUEN, F. 1961. Las lampreas (Marsipobranchii o Ciclostimi) en aguas de Chile. Investigaciones Zoológicas Chilenas, 7: 101-124.

DYER, B. 1997. Phylogenetic revisión of Atherinopsinae (Teleostei: Atherinopsidae), with comments on the systematics of the South American freshwater fish genus *Basilichthys* Girard. Museum of Zoology University of Michigan, Miscellaneous Publications, 185: 1-64.

DYER, B. and A. GOSZTONYI. 1999. Phylogenetic revision of the South American subgenus *Austromeniidia* Hubbs, 1918 (Teleostei, Atherinopsidae, *Odontesthes*) and a study of meristic variation. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 34 (2): 211-232.

McDOWALL, R.M. 1971. The galaxiid fishss of South America. Zoological Journal of the Linnean Society, 50 (1): 33-73.

EIGENMANN, C. 1927. The freshwater fishes of Chile. Memoirs of the National Academy of Sciences, U.S.A., 22: 1-63.

NEIRA, F. 1984. Biomorfología de las lampreas parásitas chilenas *Geotria australis* Gray, 1851 y *Mordacia lapicida* (Gray, 1851)(Petromyzoniformes). Gayana (Zoología), 48 (1 y 2):3-40.

PEQUEÑO, G. 1981. Peces de las riberas estuariales del río Lingue, Chile. Cahiers de Biologie Marine, Roscoff, 22: 141-163.

RUIZ, V.H. 2004. Los peces de agua dulce de Chile, Universidad de Concepción, Concepción,

15. Avifauna

15.1. Antecedentes

No existen estudios cuantitativos acerca de la dinámica de la avifauna asociada al Santuario y que puedan entregar información útil para el manejo y conservación de este ecosistema. La Corporación Nacional Forestal (CONAF) ha realizado censos del Cisne de cuello negro desde 1987 hasta la fecha y del total de avifauna desde 1999 al presente. Este muestreo se realiza a intervalos mensuales y provee de un excelente registro temporal a una resolución adecuada, para realizar una primera aproximación a las propiedades ecológicas de este ecosistema.

Desde una perspectiva jerárquica de sistemas dinámicos, se analizan las propiedades estadísticas del ensamble de la avifauna incluida en la base de datos de CONAF, incluyendo las variaciones en el número de especies e individuos de diferentes especies. La relevancia de utilizar esta perspectiva radica en su capacidad de sintetizar la complejidad de las dinámicas ecológicas, al aplicar el mismo análisis a diferentes niveles de organización (comunidades, poblaciones) y en distintas escalas temporales (anual, mensual). Esto permite conocer qué propiedades aparecen o desaparecen, al cambiar de nivel o escala de observación, y por lo tanto, es útil para realizar una descripción cuantitativa del estado de una variable ecológica a través del tiempo (Allen & Starr 1982). Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio es caracterizar las fluctuaciones temporales en diversidad y abundancia poblacional de la avifauna asociada al ecosistema del Santuario de la Naturaleza e Investigación Científica Carlos Anwandter del Rio Cruces, con especial énfasis en el Cisne de cuello negro.

Por otra parte, se analizan en base a censos aéreos, los cambios en la abundancia y distribución espacial de los Cisnes de cuello negro que ocupan el área del Santuario, humedales adyacentes al mismo y humedales cercanos a Valdivia. El objetivo fue evaluar el desplazamiento de los mismos como consecuencia de la desaparición significativa del luchecillo (*Egeria densa*). Se evaluó la hipótesis de que los

Cisnes de cuello negro son capaces de colonizar humedales con distintas características estructurales y funcionales (incluyendo costas marinas y estuariales, charcas temporales en praderas de pastoreo, remansos de ríos, etc.).

15.2. Metodologías

Abundancia de especies a través del tiempo: cada especie presente en el ecosistema del Santuario fue caracterizada por: i) promedio temporal de individuos, ii) número mínimo de individuos registrado en este periodo, iii) variabilidad temporal de la abundancia de individuos de cada especie medida por el índice s , que corresponde a la desviación estándar de los datos logaritmizados de abundancia (Lewontin 1966) (índice calculado sobre los datos de abundancia promedio anual; i.e., una serie de 7 datos), y iv) ocurrencia temporal, que describe la razón entre el número de periodos de muestreos en que la especie estuvo presente y el total de periodos de muestreo dentro de este periodo ($n = 72$ meses). Un análisis similar fue realizado para la serie de tiempo del Cisne de cuello negro, desde 1988 al 2005.

Diversidad de especies a través del tiempo: sobre la base de los datos de la avifauna se calcularon los siguientes índices de diversidad: i) número o riqueza de especies (S) para cada mes de muestreo, ii) tasa de cambio en la riqueza de especies $S = S_t - S_{t-1}$, que corresponde a la diferencia en S entre periodos de muestreo consecutivos, iii) índice de diversidad de Shannon $H' = -\sum p_i \log p_i$, donde p_i es la frecuencia o importancia de la abundancia de una especie, relativizada por la abundancia total de individuos presentes en la muestra (mes), iv) uniformidad E (“evenness”) estimada como $E = H' / \ln(S)$, por lo que puede ser interpretada como la uniformidad de especies cuya abundancia es distinta de cero en un determinado mes, y v) dominancia de Simpson, D para poblaciones finitas, que corresponde a la probabilidad de que dos individuos elegidos al azar sea de diferentes especies, estimado como $D = 1 / \sum p_i^2$ (McCunne & Mefford 1999)

Sobre los resultados de *S*, *E*, *H* y *D* de cada muestreo se realizó un análisis fenomenológico de series de tiempo. Se estimó la auto correlación parcial de cada serie (Chatfield 1996). La autocorrelación parcial, al igual que en regresiones, miden la fuerza de la correlación entre pares de datos ordenados secuencialmente en una serie de tiempo, considerando la correlación con otros términos de la serie. Así, la autocorrelación parcial a desfase *k* mide la correlación entre el residual de tiempo *t* de un modelo auto-regresivo y la observación a desfase *k*, considerando todos los desfases presentes en el modelo auto-regresivo. El gráfico de la autocorrelación parcial vs. el desfase temporal respectivo, se denomina función de autocorrelación parcial (PACF) y es una herramienta de diagnóstico para seleccionar los términos a incluir en un modelo auto regresivo (MINITAB 1998).

El análisis de escalamiento multidimensional (NMS, McCune & Meffort 1999) fue utilizado para construir un ordenamiento del ensamble de la avifauna del Santuario sobre la base de la abundancia de especies presentes durante el periodo 1999-2005. El propósito del análisis NMS es construir un ordenamiento que satisfaga las restricciones impuestas por la matriz de similitud entre especies en sus patrones de abundancia a través del tiempo. Bajo estas condiciones, si suponemos que las diferencias entre especies están restringidas principalmente por la abundancia promedio, entonces las especies deberían segregarse notoriamente a lo largo de unos pocos ejes dominantes, donde el primer eje se debería correlacionar positivamente con la abundancia poblacional.

Las tendencias temporales en la dinámica poblacional de las especies de aves más comunes del Santuario (Cisne de cuello negro, Tagua, Taguita, Garzas, etc.) fueron estimadas ajustando un polinomio de tercer orden a la serie temporal de datos. En general, este método se usa para “suavizar” las fluctuaciones temporales de los datos y logra describir de manera adecuada la estructura de largo plazo existente en estos (Legendre & Legendre 1998, Fromentin et al. 2000). Se realizó un ajuste de tendencia a través del tiempo en dos escalas: i) inter-anual: incorporando todos los datos desde 1999 a 2003 y ii) intra-anual, que realiza un ajuste polinomial usando sólo

los 12 datos de un mismo año. La primera permite evidenciar la tendencia a largo plazo que presentan las dinámicas poblacionales, y que comúnmente son interpretadas en relación a la influencia ambiental (estocasticidad ambiental), mientras que la segunda permite identificar como ocurre el ciclo anual de variación en el número de individuos, caracterizando los periodos de reproducción estacional que se asocian a la variación en parámetros demográficos (Bernt-Erick et al. 2002). Para el periodo 2004-2005 (14 datos) se realizó el mismo ajuste, pero sin separación entre años.

Con fines comparativos se estimó la función de autocorrelación parcial descrita anteriormente para las series de tiempo del Cisne de Cuello Negro y la Tagua para el periodo 1999-2005. Además se construyó el histograma de frecuencia de la abundancia poblacional y tasa de cambio *per capita* para el Cisne de cuello negro (periodo 1987-2005) y para la Tagua (periodo 1999-2005). Para evaluar si las fluctuaciones en abundancia poblacional y tasa de cambio *per capita* durante este periodo de estudio manifiestan una escala dominante se estimó el exponente de Hurst, H , el cual permite caracterizar la desviación de un sistema dinámico respecto a una dinámica aleatoria o movimiento browniano, en cuyo caso el exponente $H = 0.5$. Sin embargo, cuando $0.5 < H < 1$ la serie de tiempo tiene un comportamiento persistente, lo que significa que su tendencia se continuará reforzando, y por lo tanto podría ser predecible en ciertas escalas temporales. Cuando $0 < H < 0.5$, la serie de tiempo tiene un comportamiento anti-persistente, lo que corresponde a un sistema de alta variabilidad temporal.

Se exploró también la relación entre el promedio y la varianza a nivel de abundancia por especies e individuos (agrupando todas las especies), con el objetivo de determinar si el ensamble de la avifauna del Santuario sigue la relación descrita para otros ensambles de aves (Ley de Taylor: Keitt et al. 1998, 2002). Además, se realizaron diversas exploraciones estadísticas (correlación, regresión, etc.) en busca de relaciones entre variables ecológicas que permitan dar mayor solidez y alcance a las interpretaciones de los análisis anteriores.

Censos aéreos de Cisnes de cuello negro: entre Noviembre del 2004 y Abril del 2005 se realizaron siete censos aéreos en el área del Santuario, humedales adyacentes al mismo y humedales cercanos a Valdivia. La metodología de muestreo consistió en cubrir el área de estudio con una avioneta Cessna para cuatro pasajeros por un tiempo aproximado de dos horas. Uno de los contadores se ubicó al lado derecho del piloto y el otro detrás de este, para cubrir adecuadamente los sectores desde alturas aproximadas de 700 - 1000 m (Schlatter et al 1991a). Los ejemplares de Cisnes de cuello negro fueron en su mayoría contados de a uno, aún cuando también se realizaron conteos de a diez especímenes. Los conteos se fueron indicando con lápiz grafito en un mapa prediseñado.

15.3. Resultados

15.3.1. La avifauna

Durante el periodo 1999-2005 se registraron 34 especies en el Santuario (Tabla 115), siendo la Tagua la especie más abundante con un promedio mensual de 10821 individuos (DE= \pm 3074), seguida por el Cisne de cuello negro con 5286 individuos en promedio (DE= \pm 1231 D.E.) (Fig. 125a). Para el periodo 1999-2004, el valor de abundancia mínimo registrado para ambas especies fue de 3970 y 1729 individuos, respectivamente (Tabla 1). Sin embargo, para el 2005, la abundancia de estas especies se redujo en un orden de magnitud alcanzando valores de 640 y 289 individuos durante Febrero (Figura 125b). La variabilidad a través del tiempo de la abundancia poblacional de la avifauna del Santuario, caracterizada por el índice-s (Fig. 125c), muestra que las especies más abundantes (Cisne de cuello negro y Tagua) tienen una baja variabilidad temporal, lo cual indica que sus altas abundancias son comunes dentro de este periodo de estudio; de hecho, estas especies han estado presentes a través de todos los periodos de muestreo (ocurrencia temporal = 1, Fig. 125d). En general, son las especies “raras” o con baja ocurrencia las que presentan altos valores de variabilidad temporal, sugiriendo que en algunos periodos pueden estar presentes en alta abundancia poblacional, y en otros periodos completamente ausentes.

Tabla 115. Resumen de estadística descriptiva de la abundancia de la avifauna de Río Cruces. Los valores han sido estimados usando muestreos mensuales desde 1999-2004. El índice-s corresponde a la desviación estándar de los datos de abundancia logaritmizados. Los números entre paréntesis corresponden a los resultados registrados en el periodo Enero-Febrero 2005 para las dos especies históricamente más abundantes.

Nombre	Promedio.	Desv. Est.	Total	Mínimo	Máximo	T	Índice-S
Tagüa	10821.93	3074.36	779179	3970 (640)	20000	1.00	0.107
Cisne de cuello negro	5286.03	1231.22	380594	1729 (289)	7998	1.00	0.038
Pato Yeco	316.56	301.86	22792	8	953	1.00	0.037
Pato Real	151.00	323.05	10872	0	1750	0.92	0.485
Gaviota Cahuil	110.08	131.43	7926	0	552	0.81	0.181
Bandurria	95.43	95.06	6871	0	359	0.89	0.150
Huala	45.18	17.16	3253	16	94	1.00	0.114
Pimpollo	44.81	20.63	3226	2	98	1.00	0.133
Garza Grande	34.46	16.62	2481	13	86	1.00	0.051
Zarapito	34.01	64.16	2449	0	290	0.46	0.220
Garza Boyera	32.81	82.11	2362	0	530	0.49	0.537
Garza Cuca	29.65	10.92	2135	2	62	1.00	0.081
Tiuque	26.43	6.54	1903	9	41	1.00	0.037
Garza Chica	23.68	15.93	1705	0	73	0.96	0.109
Cuervo del Pantano	23.06	105.22	1660	0	800	0.13	0.891
Queltehue	21.78	14.92	1568	0	60	0.89	0.144
Gaviotín Piquerito	17.90	18.89	1289	0	90	0.72	0.070
Pato Jergón	17.83	39.18	1284	0	203	0.38	0.468
Siete Colores	13.74	7.12	989	0	30	0.94	0.135
Traro	12.76	4.14	919	0	25	0.99	0.062
Trile	9.99	10.06	719	0	37	0.74	0.250
Picurio	9.86	3.99	710	0	19	0.99	0.066
Pato Anteojillo	5.79	5.08	417	0	21	0.69	0.131
Pelicano	5.21	7.11	375	0	35	0.54	0.111
Tagüita	4.99	3.76	359	0	21	0.81	0.126
Pato Negro	4.51	12.91	325	0	56	0.17	0.540
Gaviota Dominicana	4.07	4.40	293	0	18	0.61	0.201
Martín Pescador	2.26	1.35	163	0	5	0.86	0.096
Run Run	2.24	3.91	161	0	15	0.29	0.158
Huairavo	1.56	2.82	112	0	12	0.38	0.211
Huairavillo	0.53	0.84	38	0	3	0.33	0.109
Piden	0.46	1.26	33	0	6	0.14	0.128
Águila Pescadora	0.36	0.70	26	0	3	0.26	0.106
Cisne Coscoroba	0.22	1.32	16	0	8	0.03	0.150
Trabajador Común	0.10	0.83	7	0	7	0.01	0.081

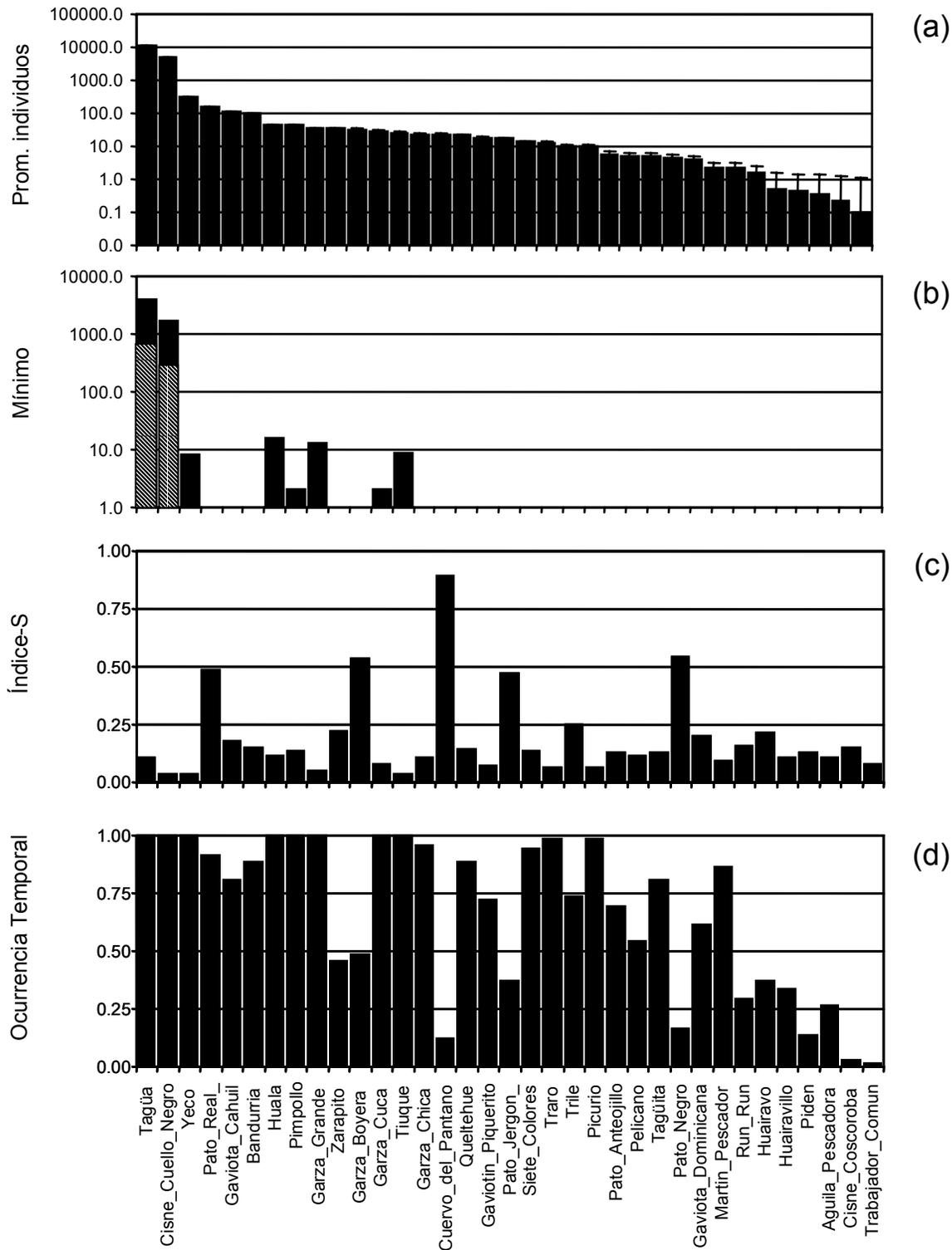


Figura 125. (a) Promedio de individuos (± 1 D.E.) registrados durante el periodo 1999-2005 para la avifauna del Santuario, (b) abundancia mínima de individuos registrada para el periodo 1999-2004 (barras negras) y para Enero y Febrero del 2005 (barras achuradas), (c) variabilidad temporal de la abundancia individual de la avifauna caracterizada por el índice-S, (d) ocurrencia temporal de cada especie expresada como la razón entre el número de muestreos en que una determinada especie estuvo presente y el total de muestreos.

La variación temporal que presentó el ensemble de la avifauna a través de todo el periodo de estudio se correlacionó positivamente con la variación temporal estimada excluyendo el año 2004 (Fig. 125). Sin embargo, varias especies presentaron un incremento en la variabilidad temporal al considerar sus variaciones poblacionales ocurridas durante 2004. Esto se evidencia en la Fig. 126, donde gran parte del ensemble cae bajo la bisectriz que supone una constancia de la variabilidad temporal. En particular, el Cisne de cuello negro presentaba un índice-s similar a 0.05, durante el periodo 99-2003, pero al incluir las variaciones poblacionales del 2004, la variabilidad temporal aumentó en aproximadamente seis ordenes de magnitud (datos en escala logarítmica, Fig. 126).

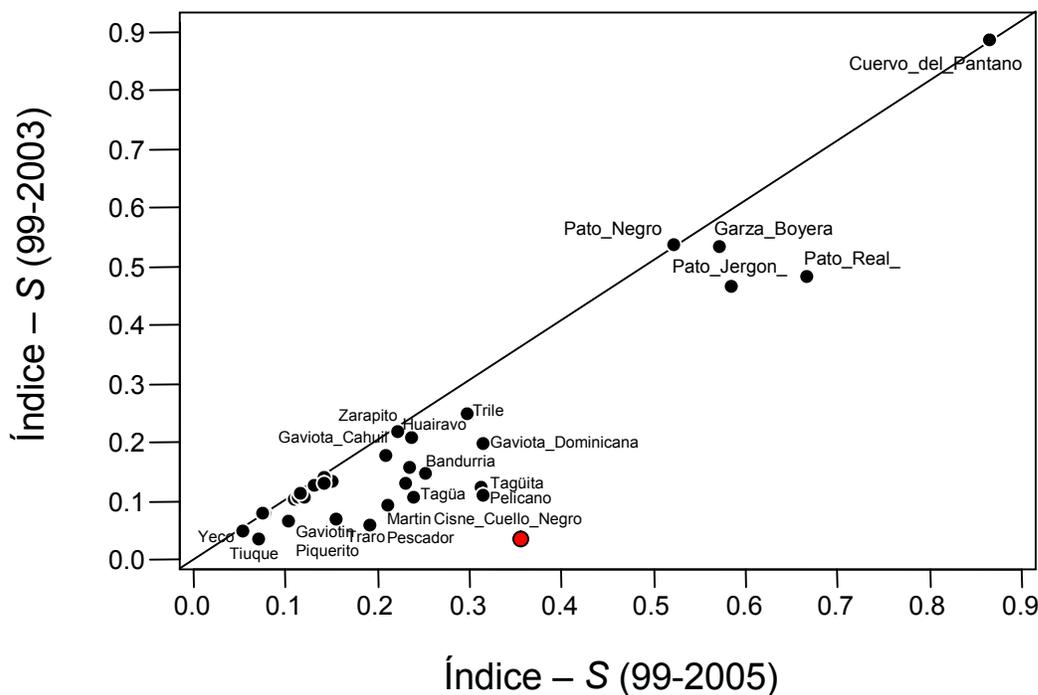


Figura 126. Relación entre la variabilidad temporal de las fluctuaciones en abundancia de cada especie registrada durante el periodo 1999-2005 y la variabilidad temporal registrada durante 1999-2004. La bisectriz indica una relación 1:1 en la variabilidad temporal para ambos periodos de estudios. En rojo se identifica la relación para el Cisne de cuello negro.

Desde mediados del 2004 a Febrero del 2005 se ha manifestado una disminución sistemática, tanto en el número de especies como en su tasa de cambio mensual (Fig. 127a y b). Para este último periodo, los índices de diversidad muestran un aumento que es difícil de interpretar numéricamente pero que tiene un sentido ecológico. Por ejemplo, la uniformidad aumenta de manera sistemática a partir de Mayo del 2004 (Fig. 127c), lo cual puede ser interpretado debido a una homogeneización de los patrones de abundancia entre especies (e.g., especies abundantes se hacen más similares a especies de menor abundancia). Sin embargo, la diversidad H , y Dominancia D , también aumentan (Fig. 127d y e), lo cual sugiere que la importancia relativa de las especies presentes aumenta (H) y que la probabilidad de muestrear dos individuos de la misma especie también aumenta (D). Esto tiene sentido, ya que al disminuir la importancia relativa de las especies abundantes como el Cisne de cuello negro y la Tagua, la “información” aportada por especies menos abundantes aumenta, y debido a las bajas abundancias individuales (alta Uniformidad) y bajo número de especies, es más probable que dos individuos muestreados pertenezcan a la misma especie. Esto resalta la necesidad de estudiar los patrones de diversidad, usando familias de índices que puedan incorporar las complejas relaciones que se forman entre los patrones de abundancia poblacional, ocurrencia de especies, ensambles totales y sus variaciones a través del tiempo. Con la excepción de la Diversidad H' , estos índices presentaron un componente cíclico débil, caracterizados por fluctuaciones de corto plazo correlacionadas positivamente (S , E , H' , y D , Fig. 128), las que luego no se distinguen de un proceso aleatorio. Sin embargo, H' y la tasa de cambio en el número de especies (ΔS) presentaron una correlación positiva y negativa a desfases temporales de 8 y 9 meses, respectivamente (Fig. 128). Esto refleja un componente cíclico en las variaciones en la entrada y salida de especies del sistema y una consecuente variación en la importancia relativa de las especies dentro del ensamble de la avifauna presente en la estación reproductiva de cada año.

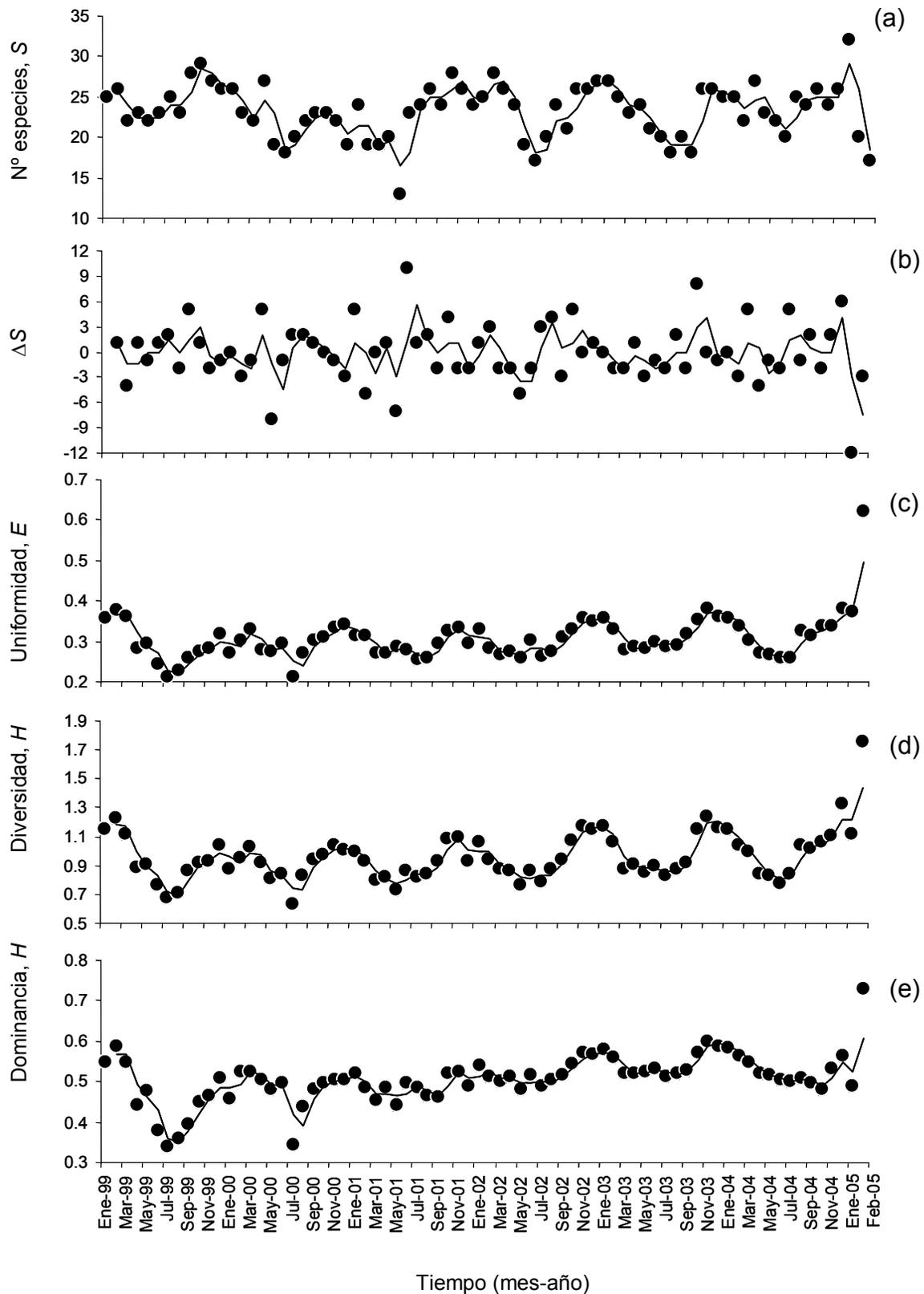


Figura 127. (a) Fluctuaciones en el número de especies de la avifauna del Santuario, (b) tasa de cambio mensual en el número de especies, (c) uniformidad, (d) diversidad de Shannon, (e) dominancia para el ensamble de aves registradas en el Santuario durante el periodo 1999-2005.

La riqueza de especies (S) presentó una relación negativa con la tasa de cambio en esta variable (ΔS) a través del tiempo (Fig. 128). Es decir, los aumentos en riqueza de especies son seguidos por una posterior caída en riqueza, tal como lo evidencia la función de autocorrelación parcial de ΔS (Fig. 129). Para el periodo 2004, esta relación negativa se ha mantenido e intensificado, manifestando durante Diciembre la mayor caída en el número de especies registrada dentro del periodo 1999-2005. Usando un modelo de regresión lineal para describir la relación funcional entre ambas variables (las cuales obviamente no son independientes) se espera que, dado los valores de riqueza registrados durante Febrero del 2005, y de mantenerse esta relación, ocurra un incremento de tres especies aproximadamente durante Marzo del 2005.

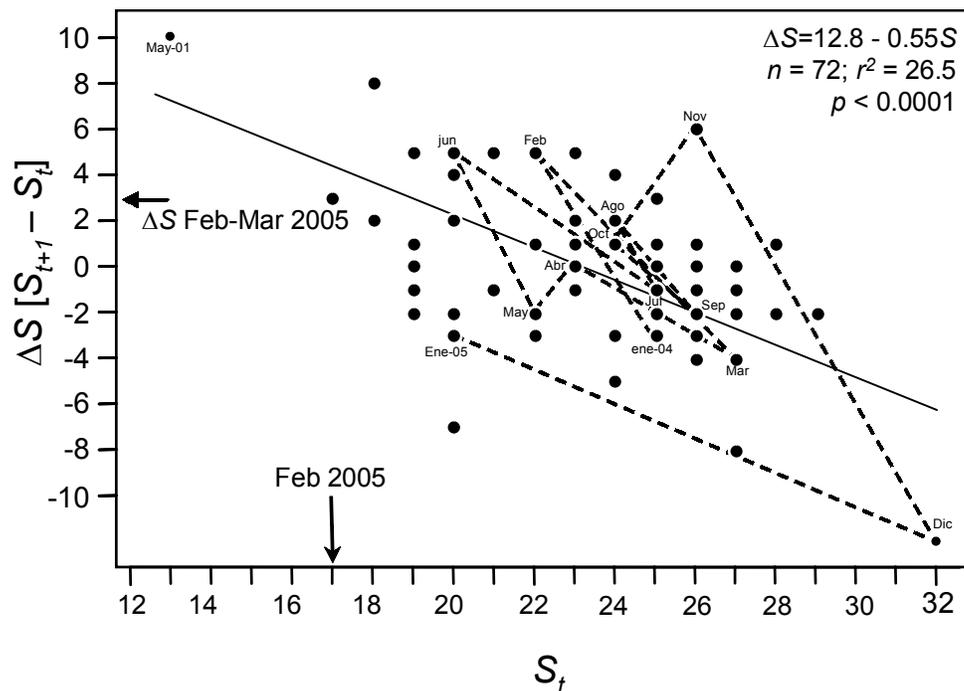


Figura 128. Relación entre la riqueza de especies S en el mes (t) y tasa de cambio en el número de especies (ΔS) entre el mes (t) y el siguiente ($t+1$). Los valores positivos y negativos de ΔS reflejan, respectivamente, incrementos o decrementos en el número de especies. La línea achurada une los datos registrados desde Enero del 2004 hasta Enero del 2005. Se destaca la tasa máxima de incremento registrada en Mayo del 2001. La línea continua corresponde a la línea de regresión estimada por el método de mínimos cuadrados cuyos resultados se muestran en la esquina superior derecha. Las flechas indican el valor de S registrado en Febrero 2005 (17 especies) y la tasa de cambio esperada para Marzo del 2005 (incremento en 3 especies) según este modelo lineal.

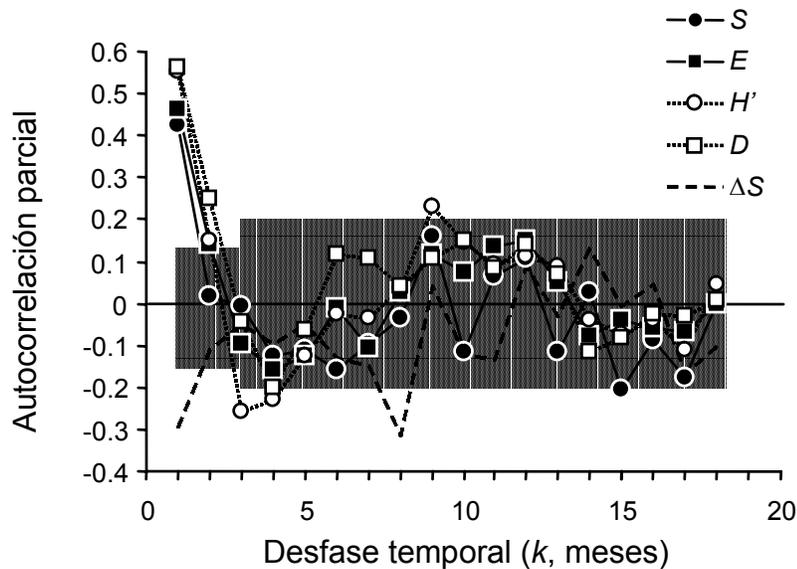


Figura 129. Funciones de autocorrelación para las series de tiempo del número de especies (S), uniformidad (E), diversidad de Shannon (H'), dominancia (D) y tasa de cambio en el número de especies (ΔS). La zona achurada corresponde a la zona de aceptación del estadígrafo- t , las correlaciones localizadas fuera de esta zona son significativamente distintas de cero.

A pesar de las fuertes variaciones poblacionales y de diversidad registradas durante el periodo 1999-2005, el ensamble de aves presentó una relación de escalamiento entre el promedio y la varianza de la abundancia ($r^2 = 0.88$, Fig. 130). Esta relación (Ley de Taylor), se mantiene al estudiar las variaciones en el número de individuos a través del tiempo, independiente de si la abundancia individual de las especies se agrupa ($r^2 = 0.98$, Fig. 131).

Lo anterior sugiere que, a pesar de la fuerte disminución en el número de individuos registrada en el 2005, los valores de abundancia poblacional registrados durante este periodo son parte del espectro de variabilidad que podría desplegar este ensamble. En particular, al remover los valores de abundancia poblacional registrados desde 2004 en adelante, esta relación de escalamiento se mantiene (Fig. 132).

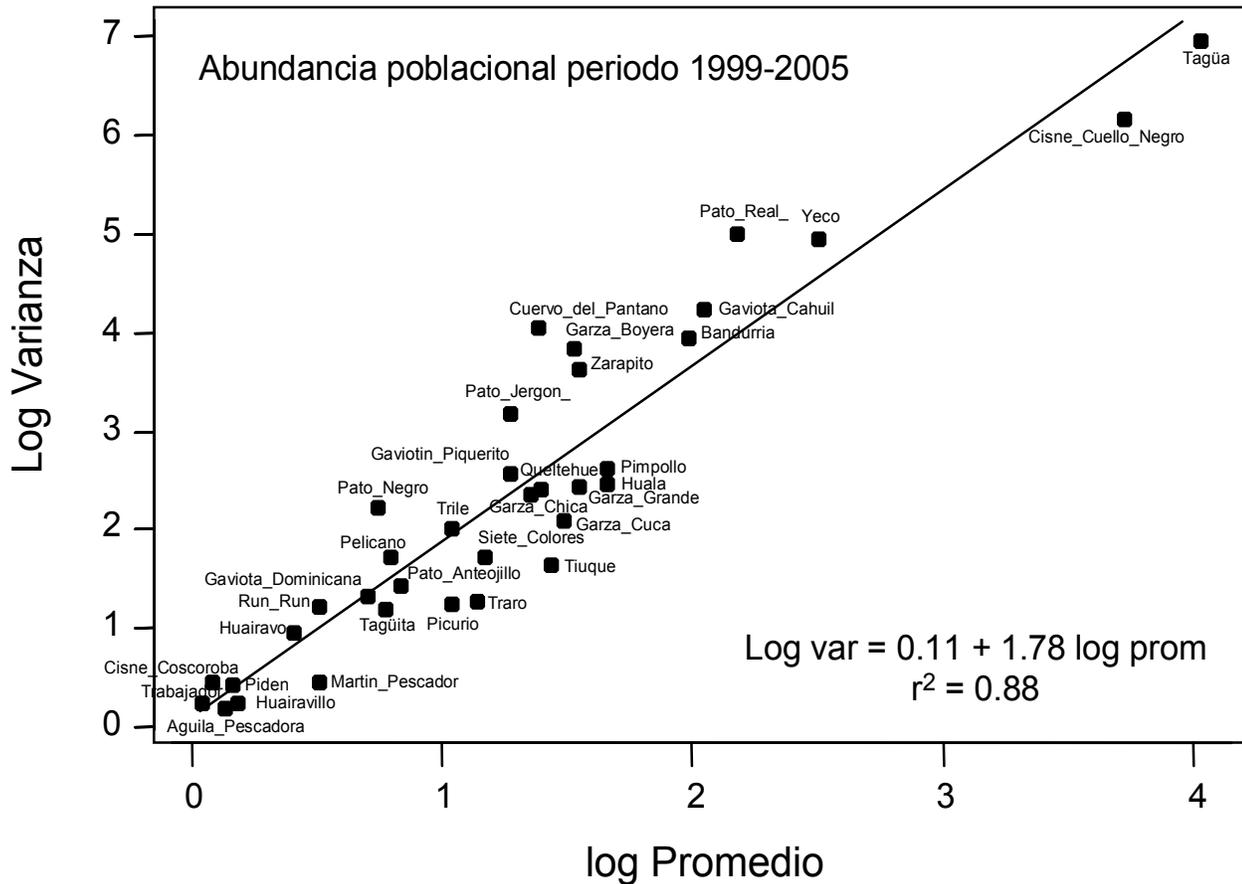


Figura 130. Relación de escalamiento (Ley de Taylor) entre el promedio y la varianza de la abundancia poblacional de todas las especies registradas en el Santuario durante el periodo 1999-2005. La línea corresponde a la predicción de la regresión lineal para los datos logaritmizados.

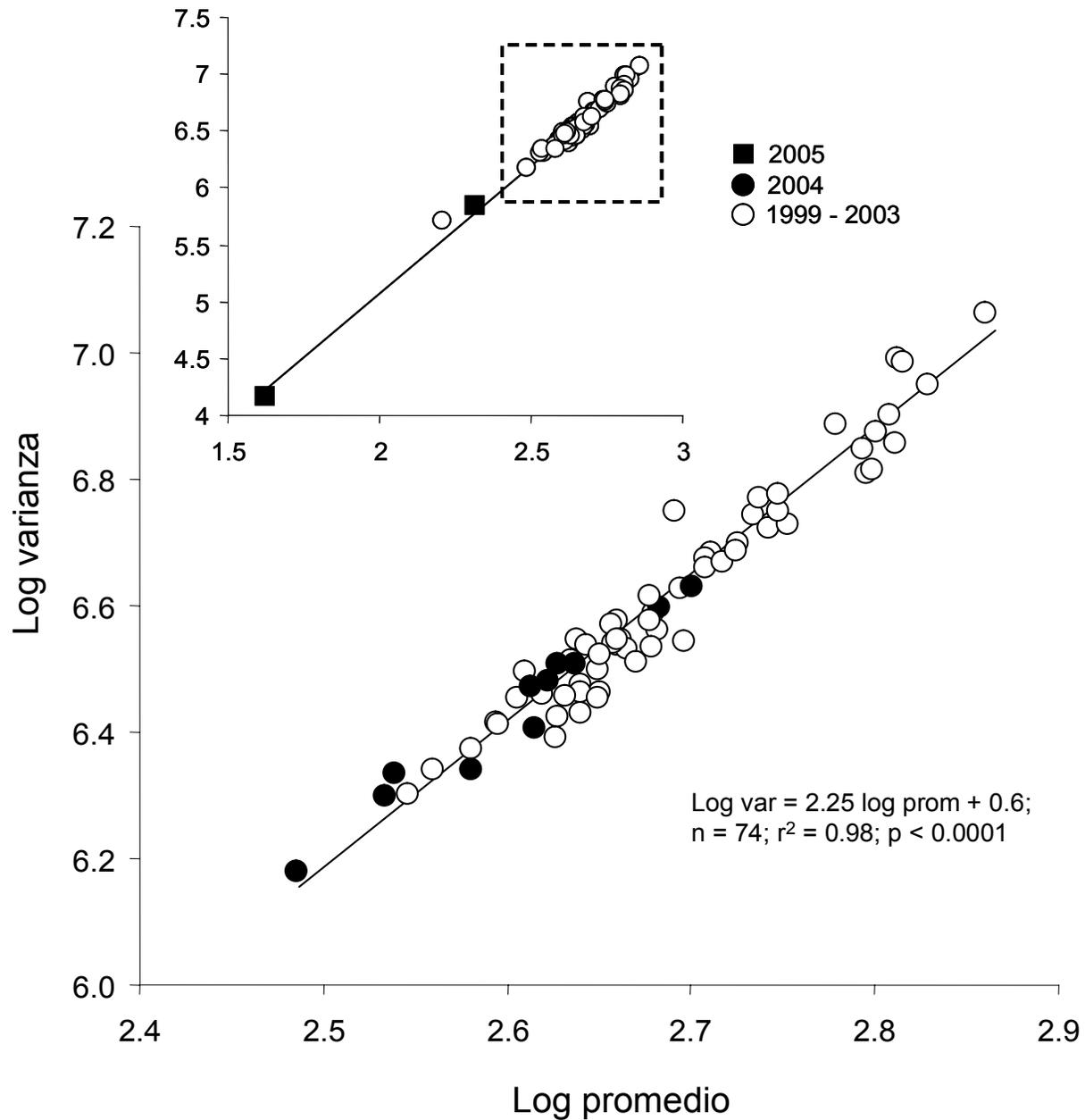


Figura 131. Relación de escalamiento (Ley de Taylor) entre el promedio y la varianza de la abundancia de individuos (agrupando todas las especies de aves) registrada en el Santuario durante el periodo 1999-2005 (arriba inserto). Abajo se muestra la relación ampliada para el periodo 1999-2004. La línea corresponde a la predicción de la regresión lineal de los datos logaritmizados.

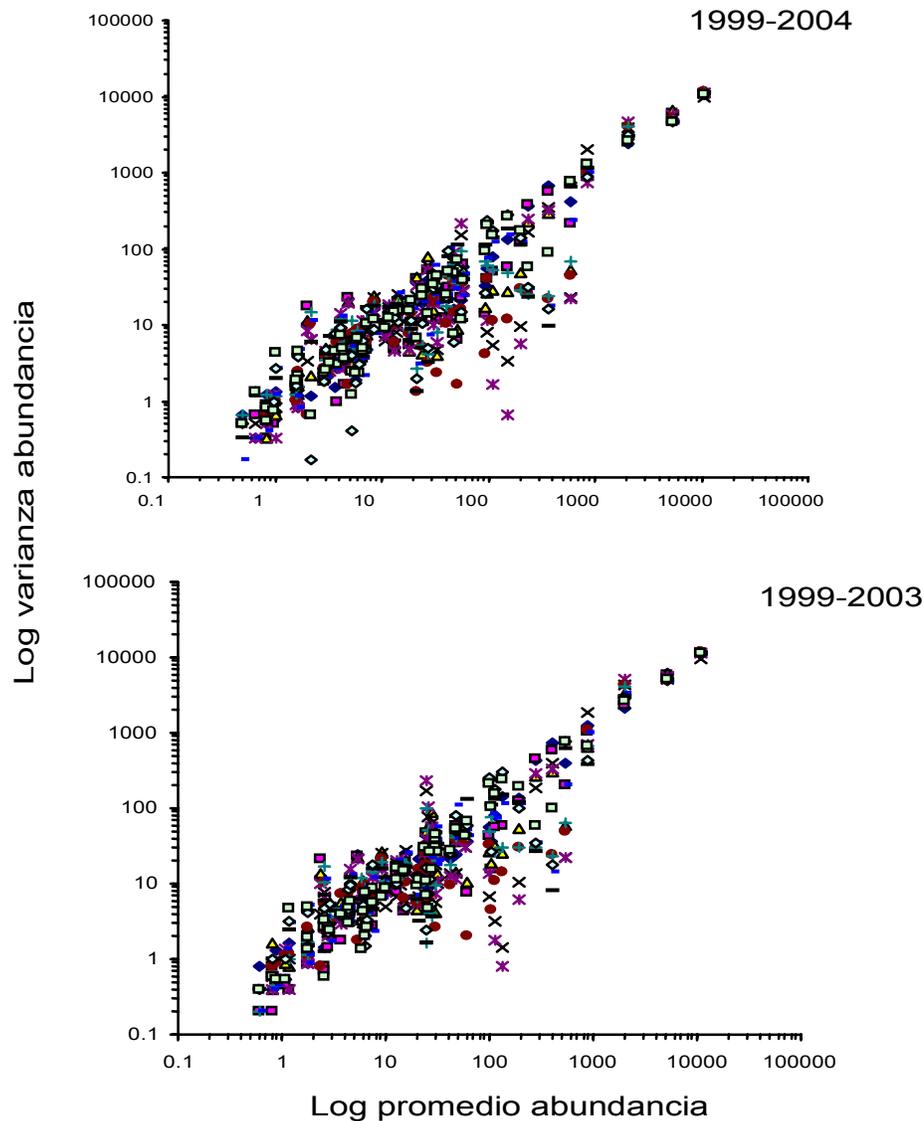


Figura 132. Relación de escalamiento (Ley de Taylor) entre el promedio y la varianza de la abundancia poblacional mensual de una especie ($n=36$) durante el periodo 1999-2004 (arriba) y para el periodo 1999-2003 (abajo). La línea corresponde a la predicción de la regresión lineal de los datos logaritmizados.

La importancia de la relación entre el promedio y variación poblacional de las especies de la avifauna del Santuario determinó un claro patrón de ordenación comunitaria, en el cual las especies se segregan en términos de sus patrones de abundancia y variabilidad temporal (nms , $stress = 0.11$, Fig. 133). Tal como se esperaba, el primer eje de ordenamiento del ensamble de la avifauna está fuertemente relacionado con la abundancia poblacional (Fig. 133b).

Mediante un análisis comparativo se pudo distinguir en que especies, la disminución en abundancia ha sido más drástica. En particular, las abundancias del Cisne de cuello negro, la Tagua y la Taguita (especies que se alimentan de lucheillo) (Fig. 134), disminuyeron en al menos 1 orden de magnitud, mientras que especies como la Huala, el Pato Yeco y el Pato Antejillo (Fig. 135), además de las Garzas (Fig. 136) (con hábitos alimentarios diferentes) mostraron tendencias temporales anuales que no muestran una disminución en abundancia y con una dinámica intra-anual con un claro patrón cíclico que se mantiene hasta la fecha. Sin embargo, en casi todos los casos, la dinámica de largo plazo pareciera estar estabilizada, en torno a valores promedio de abundancia o con fluctuaciones interanuales dentro del mismo orden de magnitud (Fig. 134, 135, 136).

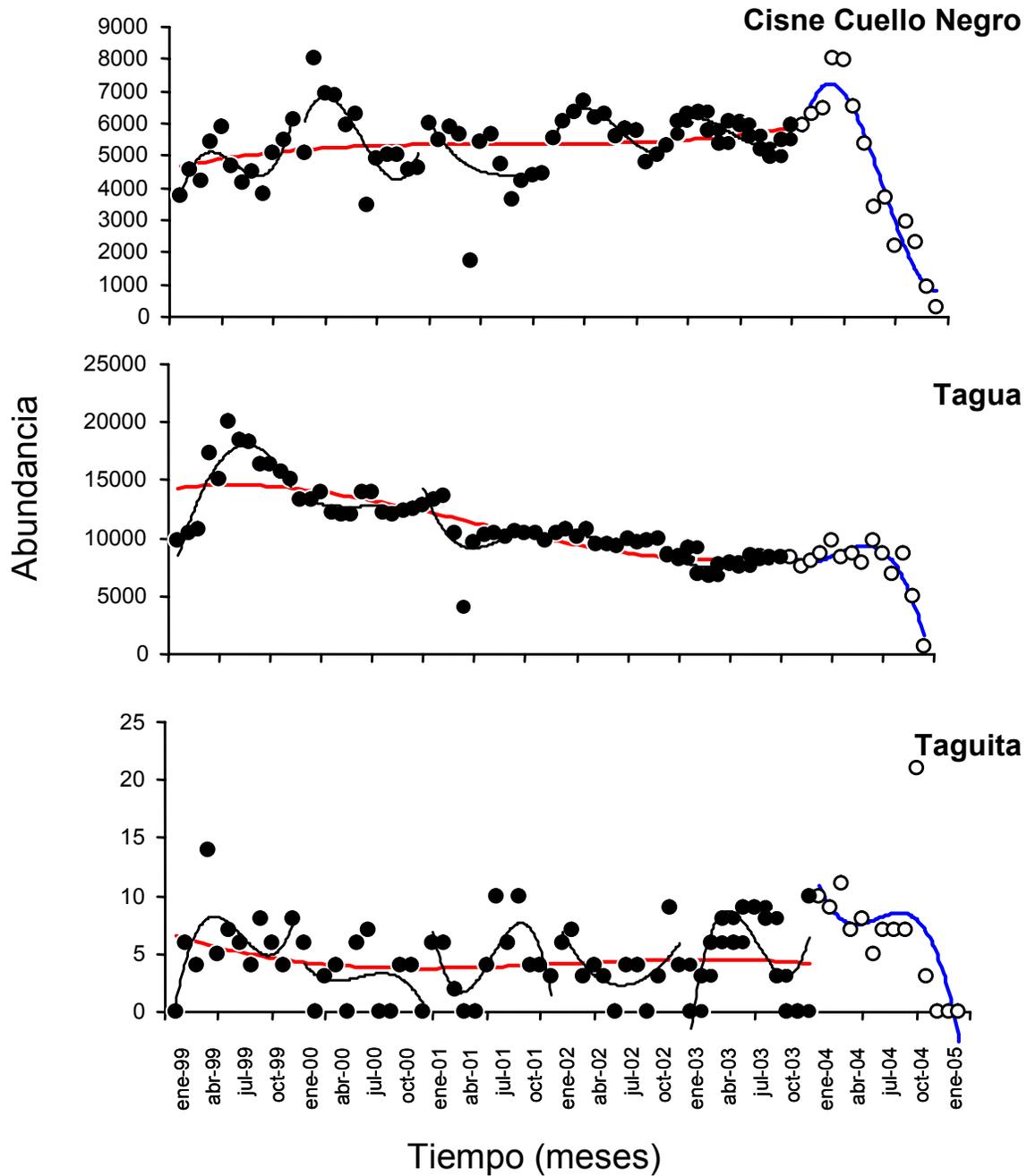


Figura 134. Abundancia poblacional del Cisne de cuello negro, la Tagua y la Taguita durante el periodo 1999-2005. En todos los casos, la línea roja (puntos negros) muestra la tendencia temporal dominante desde Enero de 1999 a Diciembre del 2003. La línea azul (puntos blancos) representa la tendencia temporal dominante desde Enero del 2004 a Febrero del 2005. Las líneas continuas en color negro representan la tendencia intra-anual para los años 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003. La tendencia corresponde a un ajuste polinomial de 3er orden.

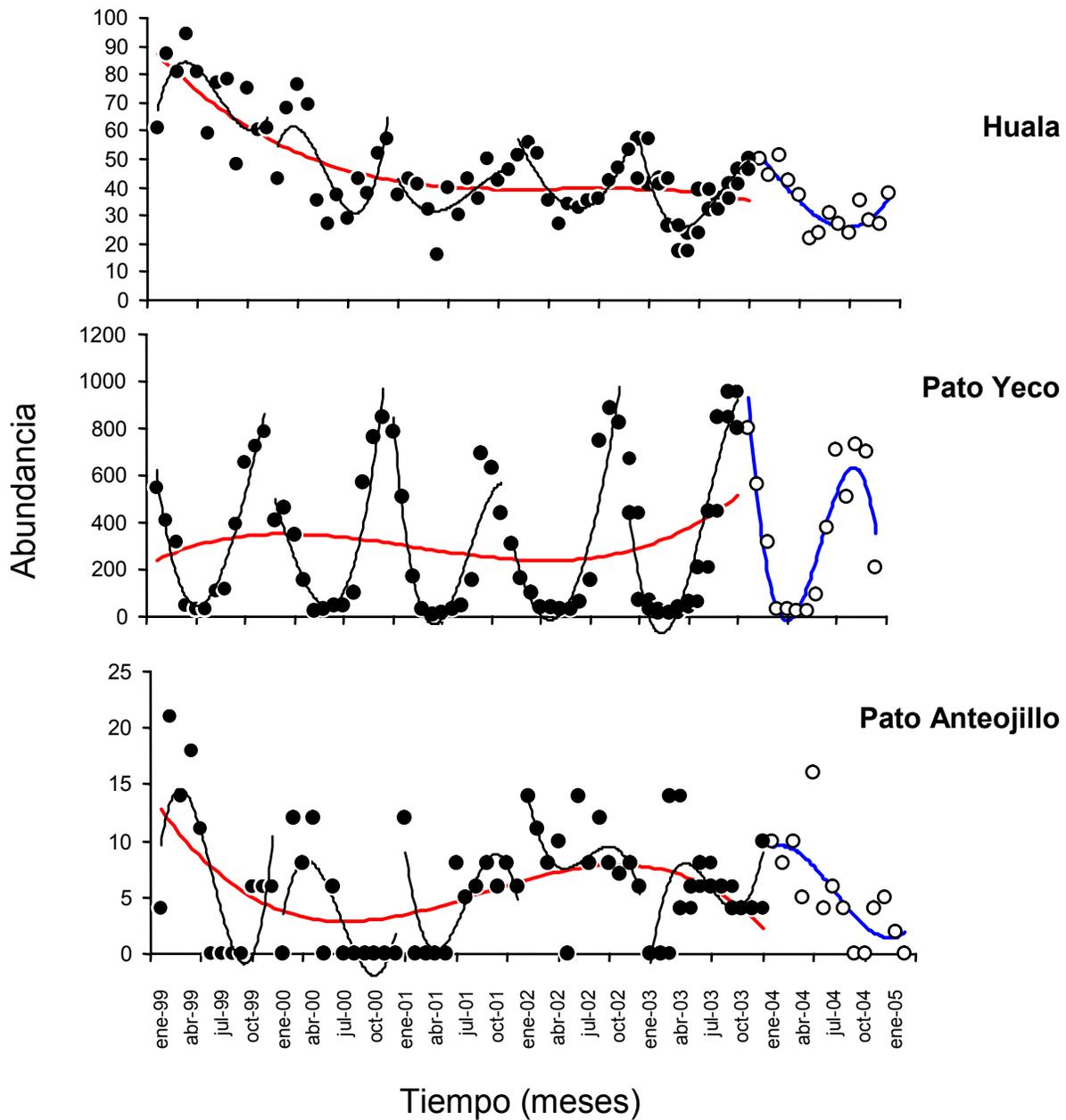


Figura 135. Abundancia poblacional de la Huala, el Pato Yeco y el Pato Antejillo registrada en el periodo 1999-2005. En todos los casos, la línea roja (puntos negros) muestra la tendencia temporal dominante desde Enero de 1999 a Diciembre del 2003. La línea azul (puntos blancos) representa la tendencia temporal dominante desde Enero del 2004 a Febrero del 2005. Las líneas continuas en color negro representan la tendencia intra-anual para los años 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003. La tendencia corresponde a un ajuste polinomial de 3er orden.

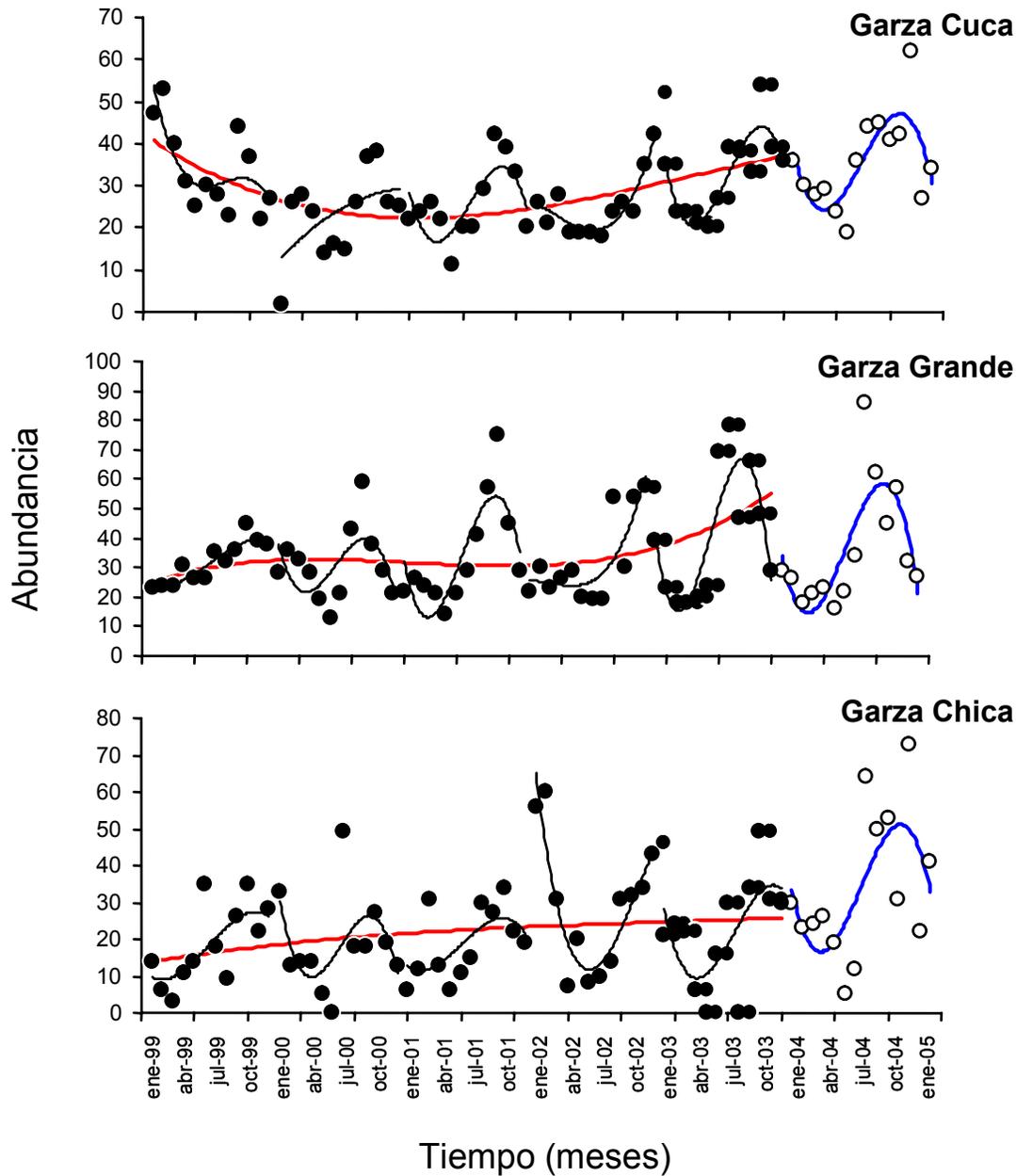


Figura 136. Abundancia poblacional de la Garza Cuca, la Garza Grande y la Garza Chica registrada en el periodo 1999-2005. En todos los casos, la línea roja (puntos negros) muestra la tendencia temporal dominante desde Enero de 1999 a Diciembre del 2003. La línea azul (puntos blancos) representa la tendencia temporal dominante desde Enero del 2004 a Febrero del 2005. Las líneas continuas en color negro representan la tendencia intra-anual para los años 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003. La tendencia corresponde a un ajuste polinomial de 3er orden.

La tendencia de largo plazo de la abundancia de individuos del Cisne de cuello negro presentó un aumento desde 1987 hasta 2003 (Tabla 116, Fig. 137). En este periodo, las mayores abundancias se registraron entre los años 1994 a 1999. La dinámica intra-anual observada durante estos años presentó drásticas caídas en el número de individuos, pero que se mantuvieron dentro del mismo orden de magnitud (miles). Sin embargo, desde 1999 hasta el 2003, estas oscilaciones intra-anales se redujeron para converger en valores cercanos a los 5 mil individuos aproximadamente. A partir de mediados del 2004, se comenzó a manifestar una disminución en el valor mínimo de abundancia, e incremento del valor máximo, lo cual se reflejó en un aumento de la variabilidad temporal intra-anual (índice-s, Tabla 116). En Febrero del 2005, el valor máximo y mínimo ha convergido al orden de cientos de individuos, manifestándose la más alta variabilidad intra-anual registrada en esta base de datos. La caída en la abundancia que se registró durante el 2004 se correlacionó positivamente con las fuertes caídas registradas durante el periodo de fuertes oscilaciones registrado durante el año 1996, 1997 y 1998 (Fig. 138). Sin embargo, la principal diferencia es que, iniciado el 2005, no existen señales de una tendencia a la recuperación del número de individuos, tal como se registró en dicho periodo de la década pasada. Esto se resalta al comparar la dinámica intra-anual de 1994 (el año previo a las fuertes oscilaciones en abundancia) la cual se correlaciona negativamente a la dinámica registrada 10 años más tarde (Fig. 138). Lo anterior sugiere que, para esta especie, tamaños poblacionales pequeños (del orden de mil o dos mil), tienen el potencial para presentar crecimientos explosivos. Esto abre la pregunta de si a tamaños poblacionales del orden de cientos se manifestará igual recuperación, y si ésta depende exclusivamente de propiedades intrínsecas de la población o de factores exógenos como el clima o la disponibilidad de hábitat y alimento adecuado.

Tabla 116. Resumen de estadística descriptiva de la abundancia y tasa de cambio del Cisne de cuello negro del Santuario. Los valores han sido estimados usando muestreos mensuales desde 1988-2004. El índice-s corresponde a la desviación estándar de los datos de abundancia previamente transformados a escala logarítmica. Los resultados registrados para 2005 sólo incluyen los meses de Enero y Febrero.

Año	Promedio	Error Estándar	Varianza	Mínimo	Máximo	Índice-s
1988	2183	100.31	120749	1563	2582	0.073842
1989	4371	430.07	2219537	2554	6434	0.154201
1990	4319	596.02	4262865	1597	6821	0.24531
1991	2881	352.69	1492710	1686	4824	0.17413
1992	2168	200.68	483259	1507	3779	0.121333
1993	2403	231.87	645150	1436	4030	0.145071
1994	5096	789.46	7479045	1713	11864	0.231783
1995	6128	571.05	3913219	3826	9747	0.133428
1996	6329	1155.99	16035861	2592	14533	0.281708
1997	5299	748.29	6719190	2592	8924	0.225788
1998	5469	677.55	5508906	3053	8924	0.190022
1999	4803	225.81	611888	3756	6122	0.070323
2000	5636	385.62	1784394	3438	7998	0.104854
2001	4767	352	1486826	1729	5997	0.149154
2002	5777	161.76	313989	4783	6666	0.042882
2003	5724	126.34	191550	4935	6364	0.033648
2004	5226	577.02	3995452	2180	7997	0.192955
2005	615.5	326.5	213205	289	942	0.362854

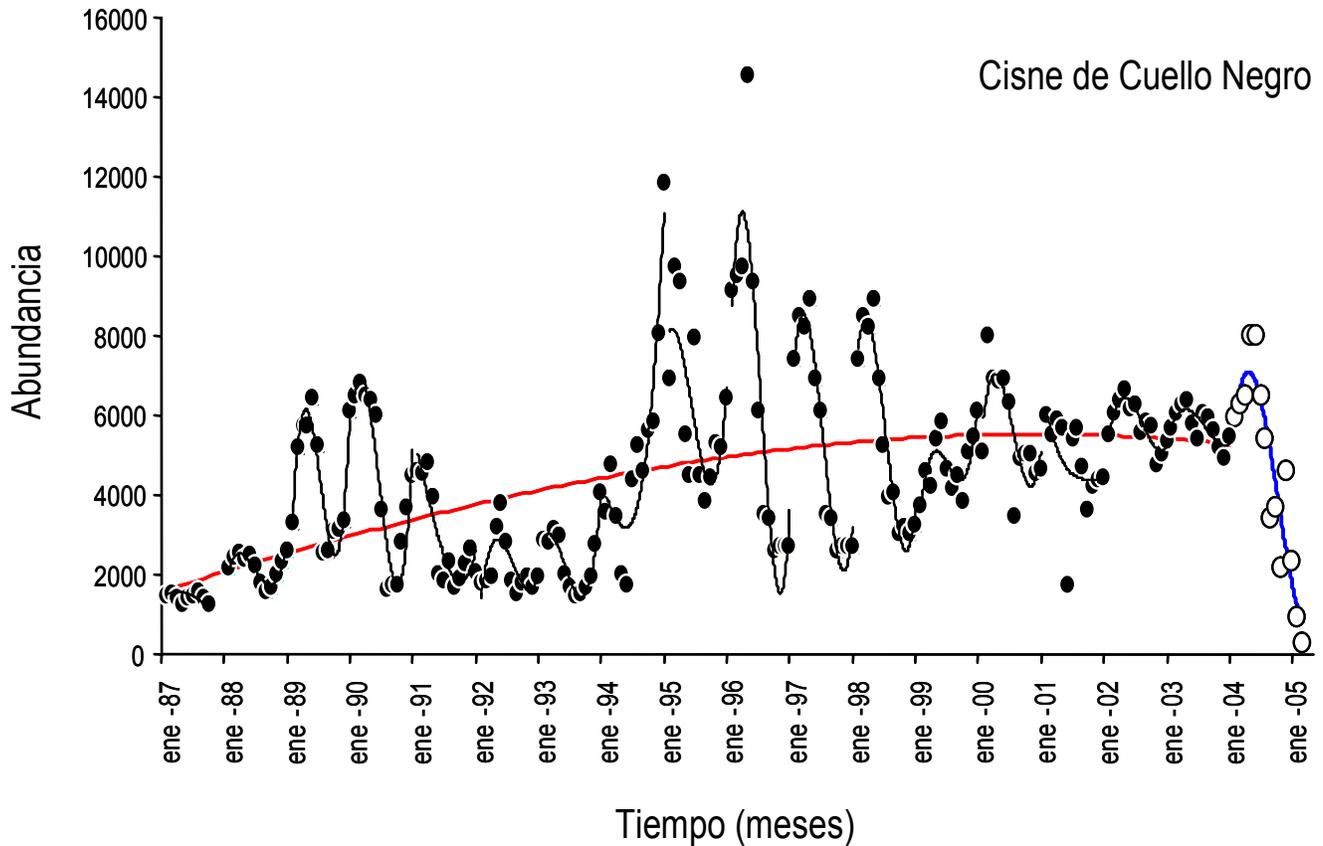


Figura 137. Abundancia poblacional del Cisne de cuello negro registrada en el periodo 1987-2005. En todos los casos, la línea roja (puntos negros) muestra la tendencia temporal dominante desde Enero de 1987 a Diciembre del 2003. La línea azul (puntos blancos) representa la tendencia temporal dominante desde Enero del 2004 a Febrero del 2005. Las líneas continuas en color negro representan la tendencia intra-anual para los años 1987 al 2003. La tendencia corresponde a un ajuste polinomial de 3er orden.

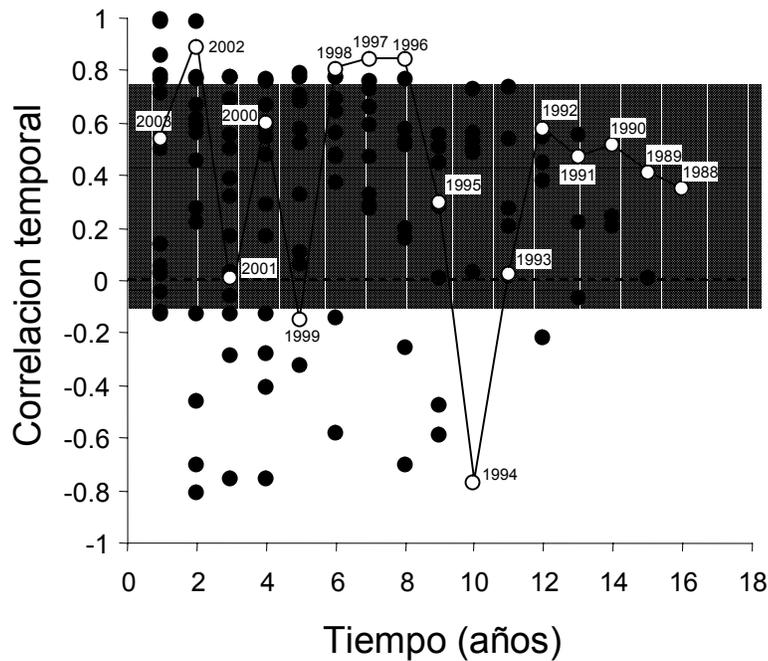


Figura 138. Correlación temporal entre la dinámica intra-anual del Cisne de cuello negro registrada durante 2004 y la dinámica interanual registrada durante los años 1988 a 2003 graficada como una función de la distancia entre años. La zona achurada representa el intervalo de confianza 95 % de la correlación intra-anual promedio.

Los valores de abundancia y las variaciones en la entrada y salida mensual de individuos de las especies más abundantes manifiesta un amplio rango de valores (Cisne de cuello negro y Tagua, Fig. 139). La distribución de frecuencia de la abundancia poblacional del Cisne de cuello negro evidencia dos modas localizadas en torno a 2000 y 6000 individuos, lo cual podría reflejar dos estados distintos en los cuales se mueve la población a través del tiempo. En el caso de la Tagua, la moda se localiza en torno a los 1000 individuos. La distribución de frecuencias de tasa de cambio del Cisne de cuello negro y la Tagua presentó una moda cercana a cero, lo cual indica una constancia en el número de individuos a través de muestreos sucesivos, y con valores extremos positivos y negativos que indican lo “raro” (baja frecuencia) en la ocurrencia de eventos de incremento y decremento masivo de individuos (Fig. 139). Sin embargo, esta tasa de cambio en el número de individuos describe cambios

poblacionales a escalas mensuales. Incorporando todas las escalas de variación para la series de tiempo entre 1999-2005 se registró que la variación mensual es parte de un coherente espectro de variación a través de varias escalas temporales involucradas (meses, estaciones, años, Fig. 140). Para la serie de tiempo de abundancia de ambas especies, la pendiente de la relación de escalamiento entre el número de meses y el rango re-escalado por la desviación estándar es cercano a 1, lo cual indica que presentan una dinámica persistente, es decir la tendencia registrada a través del tiempo se fue reforzando, y por lo tanto no son esperables cambios drásticos en la dinámica poblacional. En el caso de la tasa de cambio poblacional, el exponente de Hurst fue mucho menor, $H = 0.59$, pero que todavía está en el rango que describe a sistemas dinámicos con comportamiento persistente. Esta idea se refuerza al observar que la función de autocorrelación parcial de la abundancia poblacional y tasas de cambio de ambas especies (Fig. 141), la cual presenta correlaciones positivas a tanto a intervalos mensuales (desfase 1) como inter-anual (desfase 10).

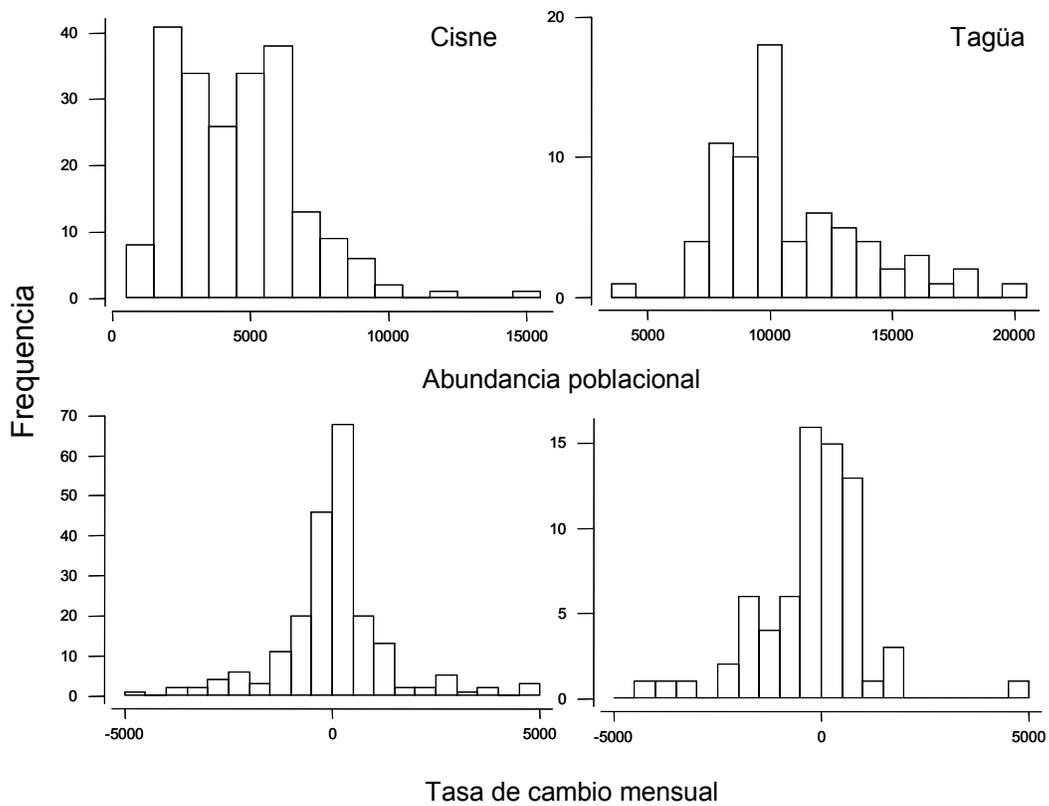


Figura 139. Distribución de frecuencias de la abundancia poblacional y tasa de cambio mensual para el Cisne de cuello negro (periodo 1987-2005) y la Tagua (periodo 1999-2005).

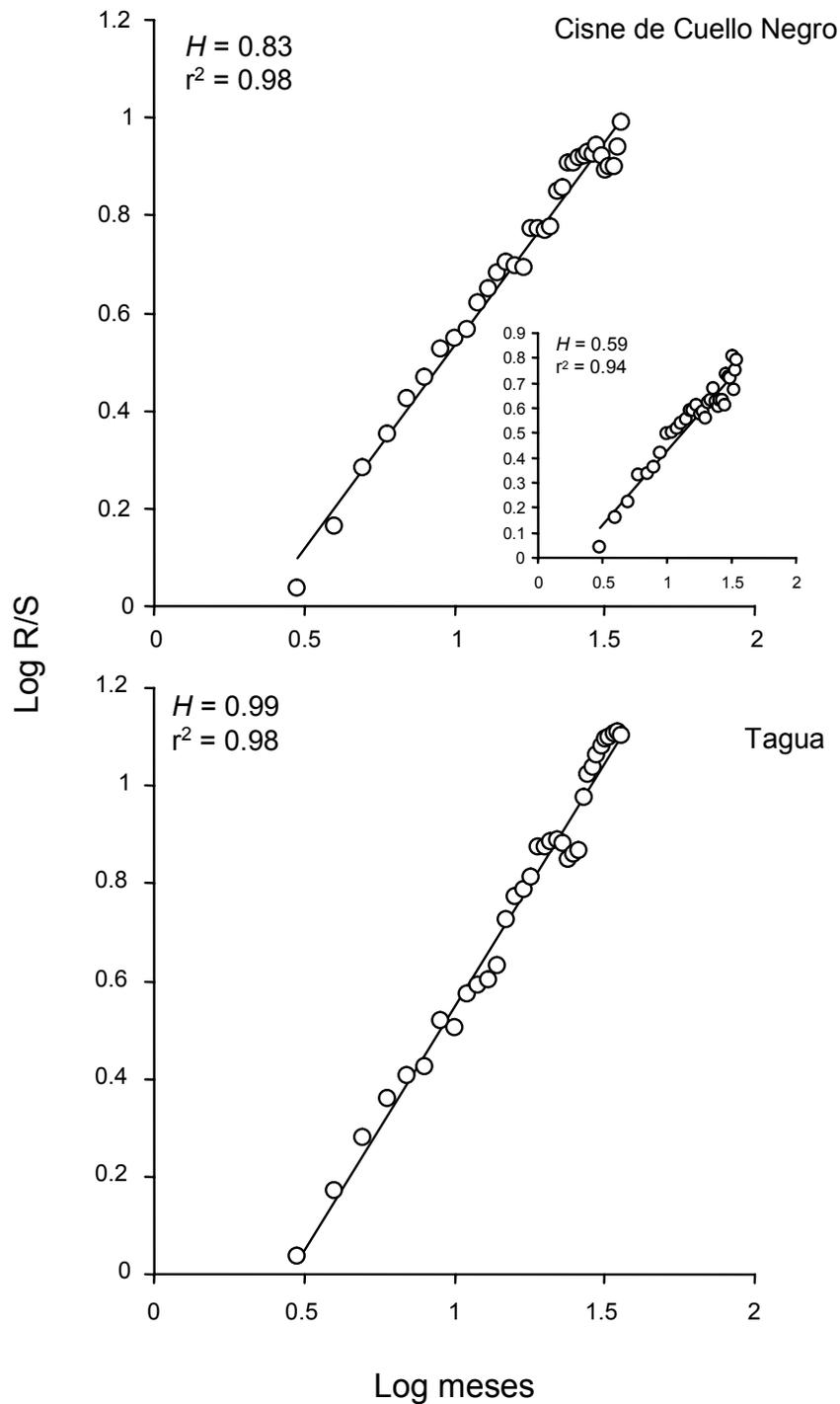


Figura 140. Relación de escalamiento entre el número de meses utilizados para estimar la tasa de cambio poblacional y el rango (R) re-escalado por la desviación estándar (S) para el Cisne de cuello negro y la Tagua para el periodo 1999-2005. La pendiente de la relación corresponde al exponente de Hurst, H .

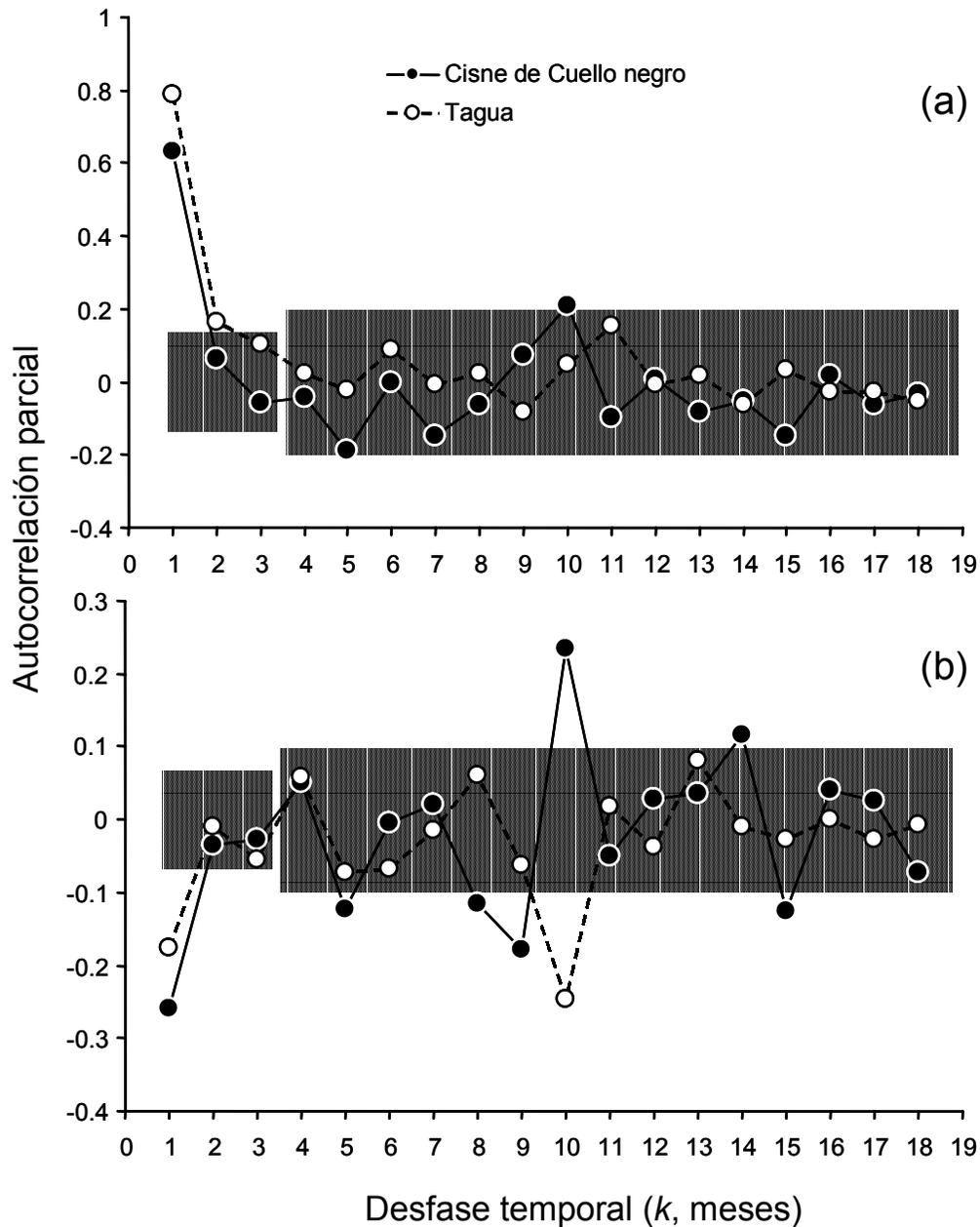


Figura 141. Funciones de autocorrelación para las series de tiempo de la abundancia (a) y tasa de cambio mensual (b) del número de individuos de Cisne de cuello negro y Tagua. La zona achurada corresponde a la región de aceptación de la hipótesis para el estadígrafo-t de prueba. Las correlaciones localizadas fuera de esta zona son significativamente distintas de cero.

La tasa de cambio (mensual) *per capita* y la abundancia poblacional del Cisne de cuello negro presentó una relación inversa durante el periodo 1987-2005 (Fig. 142). Esto sugiere la existencia de una retroalimentación en la dinámica poblacional de esta especie. Es decir, a tamaños poblacionales pequeños, se manifestaría una *tasa per capita* positiva. Sin embargo, también se han registrado valores negativos en la *tasas per capita* a tamaños poblacionales entre 1000 y 2000 individuos. mientras que lo contrario ocurre cuando el tamaño poblacional es grande; por ejemplo, a tamaños poblacionales superiores a los 10 mil individuos (Fig. 142). En particular, para Enero-Febrero del 2005 se registró la *tasa per capita* más baja registrada durante los últimos 15 años. Este patrón describe cambios en la abundancia poblacional mensual, pero es más adecuado realizar un diagnóstico de la dinámica poblacional a escala anual. En la Figura 143 se muestra que esta relación se mantiene al estimar la *tasa per capita* de cambio poblacional para cada mes a través del periodo 1988-2005. Se destaca que durante la primera mitad del 2004 aún se manifestaban *tasas de cambio* positivas o cercanas a cero. Pero a partir de Julio del 2004, la *tasa de cambio* ha sido invariablemente negativa. Estos análisis resaltan la urgente necesidad de avanzar realizando estudios para determinar el periodo más adecuado para estimar la *tasa per capita*, el orden y la relación funcional de este patrón de relación entre la *tasa per capita* y la abundancia poblacional del Cisne de cuello negro.

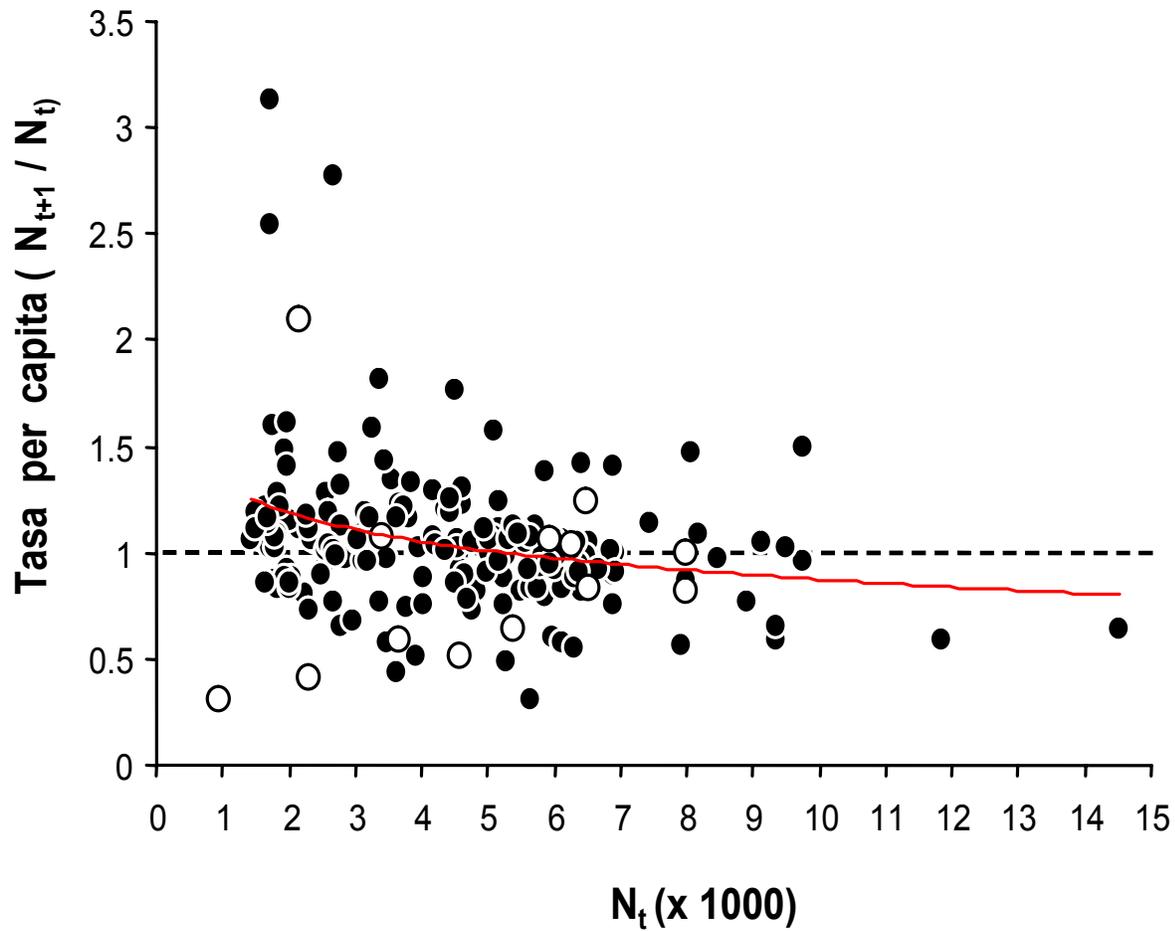


Figura 142. Relación entre la abundancia poblacional y la tasa de cambio mensual *per capita* del Cisne de cuello negro para el periodo Enero 1988-Febrero 2005. Los círculos blancos indican los valores correspondientes al periodo Enero 2004-Febrero 2005. La línea continua corresponde a la tendencia de la relación descrita mediante el ajuste de un modelo logarítmico. La línea segmentada divide la zona de incrementos (valores positivos) y decrementos (valores negativos) en la tasa *per capita* de cambio poblacional mensual.

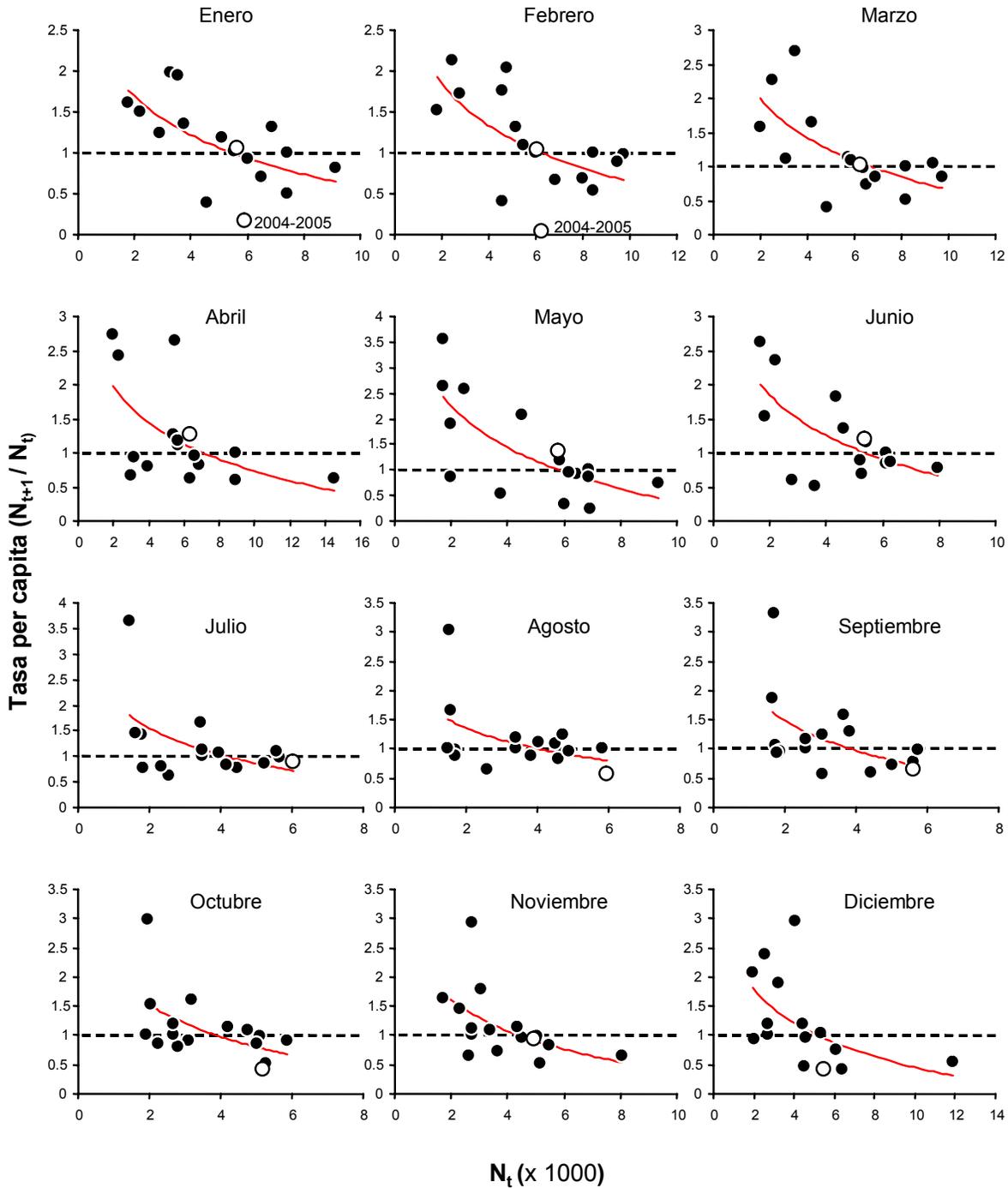


Figura 143. Relación entre la abundancia poblacional y la tasa de cambio anual *per capita* del Cisne de cuello negro para cada mes del periodo Enero 1988-Febrero 2005. Los círculos blancos indican los valores correspondientes a la tasa de cambio registrada entre el 2003 y el 2004 de cada mes. En los meses de Enero y Febrero se indica la tasa de cambio registrada entre el 2004 y el 2005. La línea continua corresponde a la tendencia descrita mediante el ajuste de un modelo logarítmico. La línea segmentada divide la zona de incrementos (valores positivos) y decrementos (valores negativos) en la tasa *per capita* de cambio poblacional mensual.

15.3.2. Variabilidad espacial del Cisne de cuello negro durante el período Noviembre 2004-Marzo 2005

La Tabla 117 y Figura 144 muestran la abundancia relativa de Cisnes de cuello negro en el Santuario, cauces tributarios del mismo y humedales cercanos a Valdivia, durante el período Noviembre 2004-Abril del 2005.

El total de especímenes censado en el Santuario aumentó desde Noviembre a fines de Diciembre del 2004 (1432 a 1749 cisnes); desde ese último mes, las abundancias disminuyeron hasta Abril donde solo se censaron 223 especímenes. Durante cada censo, se observaron más Cisnes de cuello negro en las orillas o bordes que en el área central del río Cruces; entre el censo del 20 de Noviembre y el del 17 de Enero del 2005, la abundancia fue 1.8-2.7 más alta en las orillas o bordes. Durante el muestreo del 10 de Febrero esa relación aumentó a 13.9 (cf. Tabla 117), a la vez que durante el censo del 11 de Abril la misma relación bajó a aproximadamente 2.0. Ya que la mayor parte de los especímenes censados ocurrió en las orillas o bordes, la pendiente de la curva de disminución de las abundancias fue mayor para los datos de esas áreas del Santuario (Fig. 117).

Similar a lo observado para el Santuario, las abundancias relativas de Cisnes de cuello negro en los cauces tributarios del río Cruces aumentaron desde Noviembre a fines de Diciembre del 2004 (1179 a 1533 cisnes), para luego disminuir hasta los censos de Marzo y Abril del 2005 (739 y 797 especímenes) (Tabla 117) (Fig. 144). Durante todo el período de estudio, las mayores abundancias relativas de cisnes ocurrieron en los ríos Pichoy y Cayumapu, los tributarios del Santuario de mayor extensión areal. Las abundancias estimadas para el río Pichoy fueron también las de menor variabilidad temporal, ya sea durante el período de mayor abundancia (Noviembre-Diciembre 2004) o cuando estas disminuyeron (Enero a Abril 2005) (Fig. 145). Los cauces de Tambillo y San Ramón fueron los que albergaron la menor cantidad de Cisnes de cuello negro (cf. Tabla 117 y Fig. 145).

Los estuarios de los ríos Calle-Calle y Valdivia (sector Las Mulatas-Cantera) y la Ensenada de San Juan en la costa cercana a la bahía de Corral, fueron los humedales cercanos al Santuario que albergaron la mayor cantidad de cisnes durante el período de estudio (cf. Tabla 117 y Fig. 146). Mientras que en el río Valdivia y Ensenada de San Juan, las abundancias relativas aumentaron de manera notoria, desde el muestreo de fines de Diciembre del 2004 al muestreo de Enero del 2005, la población de Cisnes de cuello negro del río Calle-Calle mostró su incremento más marcado al final del período de estudio (muestreo del 18 de Marzo y 11 de Abril) (cf. Tabla 117 y Fig. 146).

Los resultados anteriormente expuestos, muestran que en general, las abundancias relativas de Cisnes de cuello negro mostraron una marcada variabilidad espacial, encontrándose en general las abundancias más altas en los cauces de mayor extensión areal.

Tabla 24. Abundancias de Cisnes de cuello negro en el Santuario (i), cauces tributarios del Santuario (ii) y humedales cercanos a Valdivia (iii). Datos basados en censos aéreos.

	2004			2005			
	20 / 11	7 / 01	27 / 12	17 / 01	10 / 02	18 / 03	11 / 04
i) Santuario							
área central	427	589	472	194	15	116	75
orillas o bordes	1005	1085	1277	438	209	148	148
total	1432	1674	1749	632	224	264	223
ii) cauces tributarios del Santuario							
Cudico	58	330	318	91	44	12	49
Nanihue	145	105	166	82	50	7	36
Santa María	125	48	96	44	11	1	8
Pichoy	548	497	497	305	277	351	247
Tambillo	12	40	54	4	4	1	5
Cayumapu	269	288	393	739	514	364	450
San Ramón	22	36	9	33	4	3	2
total	1179	1344	1533	1298	904	739	797
iii) humedales cercanos a Valdivia							
Estuario río Queule	24	6	5	6	4	8	2
Estuario río Lingue	339	186	150	137	90	66	33
Estuario río Calle-Calle	251	219	297	331	421	857	870
Estuario río Valdivia, Las Mulatas - Cantera	80	40	304	573	479	424	316
Estuario río Angachilla	14	44	22	26	83	55	19
Sector Santo Domingo	97	55	76	100	11	39	33
Estuario río Valdivia, sector Estancilla	32	55	37	50	42	19	41
Estuario río Valdivia, sector Cutipay	12	16	17	20	17	13	16
Estuario río Naguilán	46	21	21	29	28	20	65
Ensenada San Juan	80	112	132	573	400	504	653
total	975	754	1061	1800	1575	2005	2048
Gran total (i + ii + iii)	3586	3772	4343	3730	2703	3008	3068

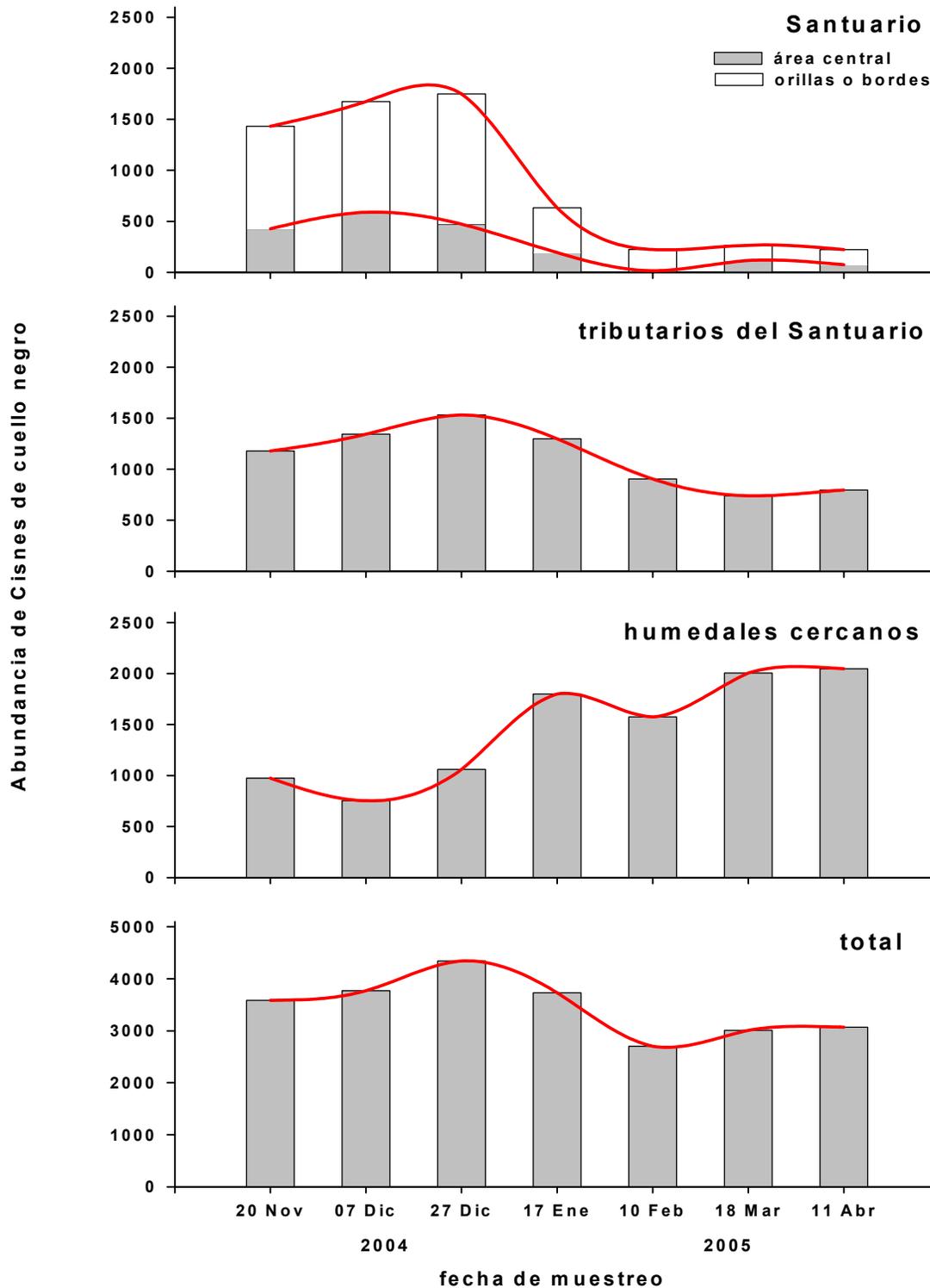


Figura 144. Abundancias de Cisnes de cuello negro en el área de estudio: área central y orillas o bordes del Santuario, tributarios del Santuario y humedales cercanos a Valdivia (cf. Tabla 117). Las abundancias totales se refieren a la suma de las abundancias anteriores. Datos basados en censos aéreos.

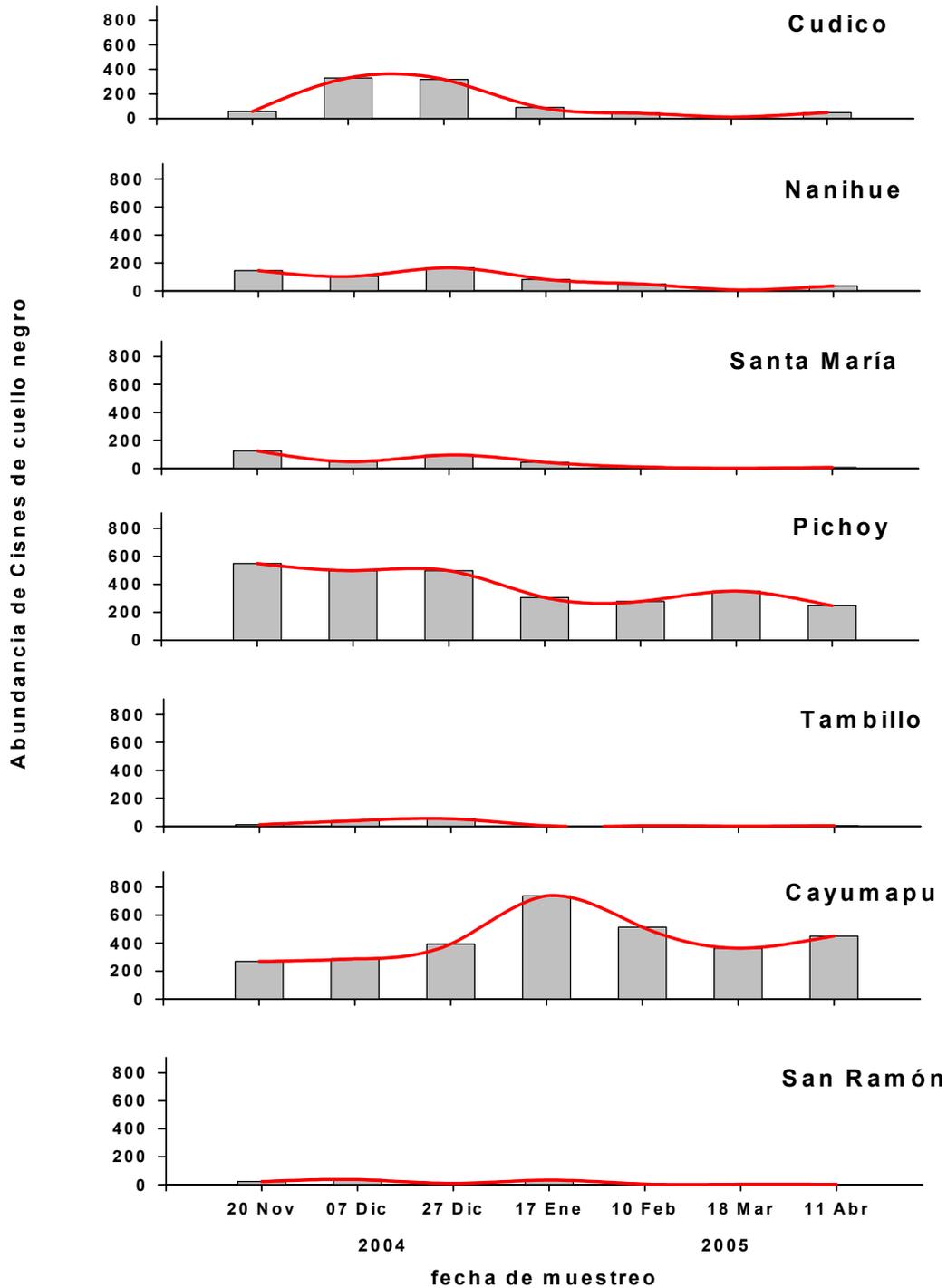


Figura 145. Abundancias de Cisnes de cuello negro en los cauces tributarios del río Cruces (cf. Tabla 117). Datos basados en censos aéreos.

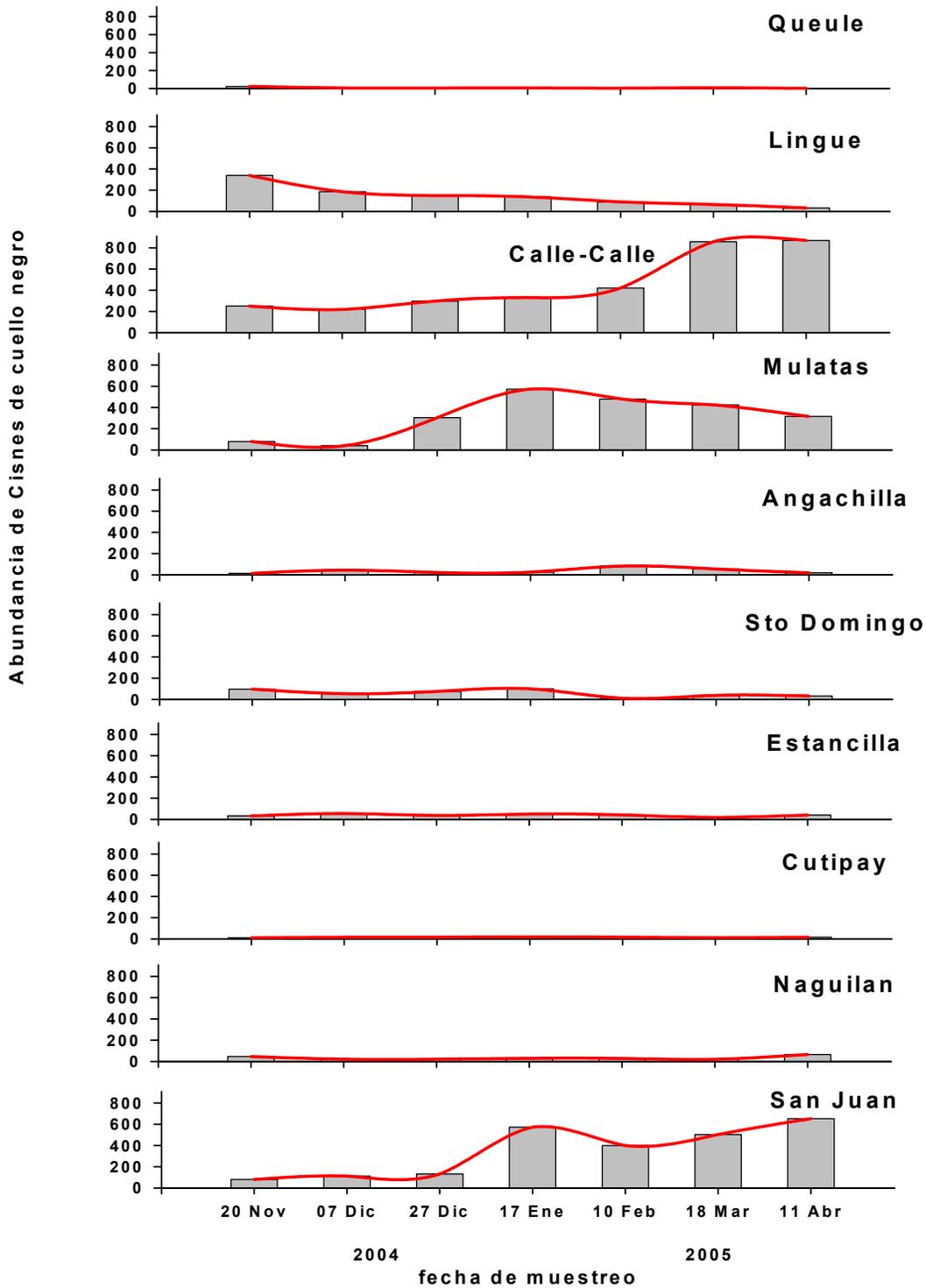


Figura 146. Abundancias de Cisnes de cuello negro en los humedales cercanos a Valdivia. Datos basados en censos aéreos.

15.4. Conclusiones

- i) Los análisis de los datos de avifauna obtenidos por CONAF, muestran que la comunidad y poblaciones del ecosistema del Santuario presentan patrones característicos en la distribución de la riqueza de especies y abundancia poblacional a través del tiempo.
- ii) En general, la abundancia poblacional y las variaciones temporales de las especies permite sugerir la existencia de una estructura comunitaria subyacente que se ordena en función de estas variables. El rango de valores de abundancia poblacional e individual registrado desde 1999 a 2005 pertenecen al espectro de valores que podría manifestar el ensamble de la avifauna y las poblaciones involucradas. Sin embargo, aunque los valores mínimos registrados en el periodo 2004-2005 tampoco se desvían de lo esperado para la relación entre abundancia y variación (Ley de Taylor), estos valores reflejan condiciones que no se habían registrado en periodos anteriores.
- iii) En el caso de las poblaciones más abundantes de este ecosistema, el Cisne de cuello negro y la Tagua, ambos presentan una fuerte disminución en el número de individuos, con valores que hasta Febrero del 2005 no muestran una tendencia a la recuperación.
- iv) Otras especies de aves, con hábitos alimentarios diferentes, no muestran hasta el último mes de muestreo un patrón de disminución poblacional y aparentemente continuarán con su dinámica intra-anual. Esto sugiere que estudios comparativos focalizados en las diferencias en rasgos de historia de vida del ensamble de especies podría echar luces acerca de los

mecanismos específicos por los cuales se manifiestan estas diferencias y similitudes entre especies.

- v) En la Figura 20 se muestra la correlación lineal entre la abundancia del Cisne de cuello negro y el resto de especies registrada para el periodo 1999-2003 y la registrada durante 2004; se puede observar que algunas especies mantuvieron una correlación positiva en ambos periodos (e.g., pato anteojillo), mientras que otras que estaban correlacionadas positivamente pasaron a tener una correlación negativa, es decir, durante 2004 presentaron una dinámica intra-anual distinta a la registrada por el Cisne de cuello negro (e.g., Pidén).

- vi) De las comparaciones realizadas en este estudio se puede concluir que las especies cuya principal fuente alimentaria es el Luchecillo vieron afectada sus abundancias poblacionales.

- vii) La dinámica poblacional del Cisne de cuello negro ha presentado fuertes oscilaciones en abundancia durante el periodo 1988-2005. Las más fuertes se observaron a mediados de los noventa cuando el aumento casi explosivo de individuos estuvo (por sobre 10 mil individuos), seguido de drásticas caídas en la abundancia. Estas caídas, son similares en intensidad y dinámica a la caída registrada durante el 2004. Sin embargo, las caídas registradas a mediados de la década del noventa nunca llegaron a valores de abundancia tan bajos como los registrados hacia fines del 2004.

- viii) Las abundancias relativas de Cisnes de cuello negro mostraron una marcada variabilidad espacial, encontrándose en general las abundancias más altas en los cauces de mayor extensión areal.

Referencias

- Allen, TFH and TB Starr. (1982). Hierarchy: perspectives for ecological complexity. University Chicago Press.
- Bjornst-Erik S, S. Engen, R.Lande, C. Both, & M. Visser (2002) Density dependence and stochastic variation in a newly established population of small songbird. *Oikos* 99: 331-337.
- Bjornstad O. (1997) Statistical models for fluctuation populations: patterns in time and space. PhD Dissertation. Dept. Biology, Fac. Mathematics and Natural Sciences. University of Oslo.
- Chatfield, C. (1996). The Analysis of Time Series, 5th ed., Chapman & Hall, New York, NY
- Fromentin, J.M., J. Gjosaeter, O. Bjornstad & N. Stenseth (2000) Biological processes and environmental factors regulating the dynamics of the Norwegian Skagerrak cod populations since 1919. *ICES Jour. Mar. Sci.* 57: 330-338
- Keitt T., L. Amaral, S. Buldyrev & H. E. Stanley (2002) Scaling in the growth of geographically subdivided populations: invariant patterns from a continent-wide biological survey. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 357:627-633.
- Keitt, T. H. and H. E. Stanley. 1998. Dynamics of North American breeding bird populations. *Nature* 393:257-260.
- Lagos N.A. (2003) dinamica espacial del reclutamiento de cirripedios Intermareales: una exploracion empirica de la formacion de patrones espacio-temporales en el acople bento-oceanico. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias de la P. Universidad Católica de Chile.
- Legendre P. & Legendre L. (1998) Numerical ecology, Second English edition. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
- Lewontin, R. C. 1966. On the measurement of relative variability. *Syst. Zool.*, 15 :141-142.
- McCune, B. and M. J. Mefford. 1999. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4.0. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon. 237 pp.
- MINITAB (1998) Minitab user guide. www.minitab.com

16. Historia natural del Cisne de cuello negro *Cygnus melancoryphus*

16.1. Antecedentes

A continuación se entregan antecedentes que han sido publicados o están por publicarse sobre el Cisne de cuello negro, ya sea por investigadores de los países en los cuales la especie se distribuye, o por aquellos que han visitado la región y han contribuido a incrementar el conocimiento de esta especie.

16.2. Características generales y estado de conservación

El Cisne de cuello negro, *Cygnus melancoryphus* Molina 1782, también se le conoce con el nombre araucano de thula (lo que es un error según Goodall et al., 1951: 117, pues corresponde mas bien a garza), pingadu o también chrulü (es discutible el nombre definitivo por los distintos pueblos geográficos de mapuches de nuestro país y de Argentina). El nombre usado por los onas fue kaum o komn, a la vez que los yaganes lo llamaban oneuma.

Es el ave acuática más grande conocida en el país. Esta dotada de un plumaje totalmente blanco a excepción de la cabeza y cuello que son negros. Las patas son rosadas, la ranfoteca es gris-azulosa con su base superior coronada por una carúncula bermellón; en los machos, esta tiende a ser algo más abultado y con mayor número de bulbos.

Los Cisnes de cuello negro presentan dimorfismo sexual relativamente notorio (véanse mas detalles en punto 15.1.5). Poseen una línea blanca superciliar que puede confluir en la nuca y ser más o menos visible y variable en su conformación, lo que puede servir para la identificación individual de las aves (Seijas 1996). El Cisne de cuello negro puede presentar plumas blancas en el mentón. El iris ocular es de color café.

Los huevos son blanco cremosos, elongados y miden entre 96.8 a 106.2 mm de largo y 63.6 a 68.1 mm de ancho (Goodall et al., 1951). Los pollos nacen con plumón gris claro. A los seis meses, estos ya tienen el cuello parduzco, plumaje corporal blancuzco y manchado de café claro (con aspecto de estar sucio), no muestran carúncula y la ranfoteca tiende a ser de color gris claro rojizo. Al segundo año, los pollos ya tienen el plumaje de un adulto, pero no presentan carúncula desarrollada; la zona de la cara no tiene los contrastes ni las líneas oculares notorias. Las carúnculas son inicialmente al crecer de color rosado con variaciones violetas. No tienen una función clara; probablemente influyen en el cortejo, dimorfismo y eventualmente, para evitar pérdida de calor. Los juveniles de hasta dos años de edad, poseen las remiges alares mayores con terminaciones negras. La confirmación de sexo (que es más difícil cuando los animales son juveniles e inmaduros), se realiza por eversión cloacal en donde el macho en época reproductiva presenta un pene notorio (Nascimento et al 2001 y observaciones personales).

Los cisnes mudan entre Marzo y Diciembre en el sur este de Brasil (Nascimento et al 2001); se supone que en nuestro país lo hacen posterior al período de nidificación, es decir desde Septiembre a Marzo. No todos los individuos mudan sincrónicamente, probablemente incide en esto el efecto de la edad, condición física y sexo. El crecimiento de las remiges se alarga mas de 30 días y es probable que la muda total del cuerpo se demore mas de dos meses (Nascimento et al 2001), lo que imposibilita el vuelo durante ese lapso.

Los machos por ser más corpulentos pesan mas. Datos no publicados de CONAF y Roberto Schlatter muestran que durante diferentes épocas del año, el peso promedio de 34 machos fue 5.3 kilos; por el contrario, el peso promedio de 25 hembras sólo alcanzó a 4.4 kilos. Estas diferencias de peso tienden a ser mayores a medida que se acerca la época reproductiva cuando los machos pueden alcanzar 8.1 kilos y las hembras hasta 5.7 kilos (resultados de estudios experimentales de anillamiento realizados entre los años 1986 y 1990).

Desde el punto de vista de la conservación, el Cisne de cuello negro es una especie amenazada y categorizada como vulnerable (Rottmann & López-Callejas, 1992). Hasta el año 2004, la población nacional se estaba recuperando numéricamente y por lo tanto se pretendía sacar a la especie de este estado de conservación a uno más favorable (Schlatter et al., 2002). Se estima que la actual población existente en territorio chileno fluctúa entre los 20.000 y 25.000 especímenes de Cisnes de cuello negro; la población total en el cono sur Neotropical no superaría los 100.000 ejemplares (Schlatter et al 1991a y Schlatter et al 2002).

El otro cisne que ocurre en Chile y que no es del todo tal desde el punto de vista sistemático, es el cisne coscoroba. Este es totalmente blanco, con pico rojizo, iris naranja y puntas negras en las plumas primarias del ala. Es una especie más escasa que el Cisne de cuello negro, menos estudiada y también esta amenazada (categoría: en peligro; Rottmann y López-Callejas 1992).

16.3. Distribución geográfica y migraciones

El Cisne de cuello negro es una especie de amplia distribución en el cono sur del Neotrópico (Schlatter et al 2002). Hacia el norte de Chile, llega hasta Taltal (Villaroel 2000), con ejemplares erráticos observados recientemente en el Salar de Tara, II Región, y en la zona de puna, altiplano chileno (com pers., Eduardo Rodríguez, CONAF II Región). Por el sur, se le ha observado en las Islas Malvinas, Península Antártica (Olavarria et al 1999); hacia el oeste, hasta el archipiélago Juan Fernández (Goodall et al., 1951); por el Atlántico, llega hasta las lagunas del suroeste de Brasil, Uruguay y desde allí no supera la latitud de Córdoba, Argentina. Este especie se la menciona como abundante en el sur de Chile (Hellmayr, 1932) aunque Goodall et al. (1951) informan que es mas abundante en Aysén y territorio magallánico. De acuerdo a Gay (*fide* Hellmayr, 1932), el Cisne de cuello negro se reproducía en islas flotantes en Valdivia (véase pp 314).

En Chile, el Cisne de cuello negro se distribuye especialmente en humedales con diferentes grados de eutroficación y a lo largo del litoral marino (lagunas costeras y estuarios), con cierta preferencia por aguas salobres, ricas en nutrientes y caracterizadas por abundante vegetación sumergida (Schlatter et al 2002, Schlatter 2004). La presencia de esta especie en ríos, embalses y lagos oligotróficos es temporal y producto de su nomadismo (Schlatter et al 2002).

El origen y relación de la especie con otros cisnes es incierto, si bien comparte características similares y distribución en el hemisferio austral con el cisne negro distribuido en Australia y Nueva Zelanda. No se han realizado estudios genéticos para relacionar estas dos especies de cisnes o ambas con otras especies del hemisferio norte. Aparentemente, el Cisne de cuello negro nunca ha sido abundante en Chile. Se presume que esta especie colonizó nuestro país después de las últimas glaciaciones pleistocénicas, desde el centro ornitogeográfico de La Plata (Schlatter et al 1983, Fjeldsa, 1985, Schlatter et al 1991a, Schlatter 2005).

El Cisne de cuello negro fue catalogado como especie migratoria, especialmente en lo que se refiere a las poblaciones más australes; según Venegas (1994), es una especie que migra parcialmente; según De la Peña (1999), migra al norte. Esto ha sido cuestionado últimamente por Schlatter et al (2002), ya que la especie tiende a ser oportunista y errática, por ubicarse entre múltiples humedales que ofrecen diferentes grados de estabilidad para sobrevivir. Esto debido a que muchos humedales son inestables y por lo tanto no permiten la permanencia de poblaciones por largo tiempo (por ejemplo, congelamiento en lagunas patagónicas de cierta altura, desecamiento, mucha profundidad y consecuentemente falta de acceso a vegetación acuática sumergida). Además, la presencia cíclica de fenómenos ENSO (años secos: la Niña; años lluviosos: el Niño) afecta la presencia del Cisne de cuello negro en determinadas zonas geográficas (Schlatter et al.2002).

16.4. Exigencias ambientales del Cisne de cuello negro en humedales del sur de Chile

La especie no tiene mayores exigencias ambientales que charcas de agua temporal con una superficie de más de 100 m², profundidades aproximadas de 1 m y presencia de vegetación sumergida. Esto se pudo constatar, luego de producidos los cambios de carácter ecológico observados en el Santuario durante el invierno del 2004. Por ejemplo, varias lagunas y charcas temporales creadas por las lluvias en potreros de pastoreo fueron ocupadas por ejemplares de Cisnes de cuello negro y otras especies de aves acuáticas. Ya que esas lagunas contenían vegetación sumergida blanda como pasto, los cisnes pudieron tomar alimento de las mismas.

El Cisne de cuello negro no tiene mayores exigencias en cuanto a tipo de agua; puede sobrevivir tanto en aguas costeras marinas consumiendo algas (Corti & Schlatter 2002), en charcas salinas de la pampa patagónica o en bañados como los del Santuario y humedales adyacentes, donde se alimenta primariamente de *Egeria densa* (luchecillo) (Schlatter et al, 1991b, Corti & Schlatter, 2002). Esta última planta, constituyó el alimento más importante para la población más numerosa y también la colonia reproductiva más importante de Chile, en su área de distribución geográfica. Esta ave puede también consumir plantas natantes y ocasionalmente salir a pastorear en praderas de vegas aledañas a estuarios y ríos. Cuando esto ocurre con mayor frecuencia, revela la falta de plantas acuáticas para el consumo de los Cisnes de cuello negro o la respuesta ante cambios ecológicos como los que han ocurrido en el río Cruces durante el año 2004.

Los estudios a largo plazo y monitoreo de la población de Cisnes de cuello negro en el Santuario, muestran que un humedal “estable” implica aguas profundas de no más de 2 m todo el año, con abundante vegetación sumergida para forrajear y fragmentos de totoral para nidificar (Schlatter et al., 2002). Sitios semi-temporales son aquellos que debido a lluvias abundantes (en zonas de mayor secano), se mantienen con esas

condiciones por algunos años (2 o más), permitiendo condiciones temporales de estabilidad. Sitios inestables son aquellos donde no hay suficiente nivel de agua (por ejemplo, lagunas o charcas que se secan), vegetación acuática y/o totorales para nidificar. En algunos casos aislados, se han observado Cisnes de cuello negro apilando vegetación natante y construyendo nidos flotantes con este material húmedo.

16.5. Estrategias de forrajeo

El Cisne de cuello negro consume especialmente vegetación sumergida, prácticamente durante todo el día y en algunos casos también de noche y con luna llena (Corti 1996). Estudios realizados durante los años 1996 y 1998 por Corti & Schlatter (2002) muestran que en bañados aledaños al río Cruces, el 92% de la dieta (estudios basados en análisis de fecas) estuvo representada por *Egeria densa*. En tributarios como el río Pichoy, sector Chihuahua, la dieta estuvo representada por *E. densa* en un 72%, seguida de las plantas natantes *Limnobium laevigatum* (24 % de la dieta) e *Hydrocotyle ranunculoides* (2.1% de la dieta).

El Cisne de cuello negro no es una especie muy eficiente para digerir este tipo de vegetación acuática, la que es de baja calidad nutritiva y tiene un abundante contenido de agua (Schlatter et al 1991b). La eficiencia de digestibilidad calculada fue de solo un 17% para *E. densa* y 2.8% para *L. laevigatum*, las plantas consumidas en mayor proporción. Se estima que los requerimientos energéticos diarios de un Cisne de cuello negro de un peso corporal de 5 kilos, es de 0.657 k/día de peso seco de *E. densa* y de 4.3 k/día de peso seco de *L. laevigatum* (Corti 1996), lo que implica un alto consumo de vegetación acuática.

El sector de Chihuahua tiene un área aproximada de 120 hectáreas; durante el estudio de Corti & Schlatter (2002), se censaron en promedio 200 Cisnes de cuello negro en esa área del río Pichoy. Las estimaciones realizadas indican que en ocho meses, esa población consumió aproximadamente 30.750 kilos de plantas acuáticas frescas. Exclusiones experimentales de Cisnes de cuello negro realizadas en la misma

área (Chihuahua), revelan un fuerte impacto de herbívora de estas aves sobre la vegetación acuática (Corti 1996).

El proceso de alimentación del Cisne de cuello negro es afectado por los cambios de niveles de agua. Como el Santuario forma parte de un sistema estuarial, esta sometido a mareas. Si a esto se suma la variabilidad de la precipitación, pueden ocurrir fluctuaciones de hasta 1-1.5 metros en los niveles de agua. Por lo tanto, con marea alta o después de abundantes lluvias, los Cisnes de cuello negro recurren estratégicamente a puntos de menor profundidad o a las orillas de los cauces. De hecho, la población estudiada en Chihuahua, demostró que significativamente recurre a las orillas en comparación a la hipótesis de que la población estuviera distribuida homogéneamente en el humedal (Corti 1996). Los machos y hembras de Cisnes de cuello negro poseen un cuello de hasta 68 y 60 cm de longitud, respectivamente (R. Schlatter, datos no publicados). Esto implica que esta ave necesita de profundidades menores de 1 m para tener acceso a las plantas sumergidas y alimentarse apropiadamente.

La actividad de alimentación representa aproximadamente el 55-65% de las actividades del Cisne de cuello negro en el sector de Chihuahua (en comparación con actividades como: natación, vuelo, acicalamiento y conductas agonísticas, entre otras). La actividad de alimentación fue mas intensa durante el otoño (65% del tiempo total), lo que muestra que el Cisne de cuello negro concentra esta actividad durante el período pre-reproductivo (Corti 1996)

16.6. Reproducción

El Cisne de cuello negro tiende a constituir parejas estables y por lo tanto es monógamo. Existe un porcentaje estimado de pérdidas de parejas en varias especies de cisnes, especialmente en el cisne mudo, el que puede llegar hasta 24% por razones de mortalidad, ruptura de parejas, raptos, etc. (Birkhead & Perrins, 1986). La especie presenta dimorfismo sexual, siendo el macho más corpulento que la hembra. El macho

tiende a tener el cuello más largo y más ancho, es corporalmente mas pesado, agresivo y tiende a poseer carúnculas sobre la ranfoteca (pico) mas abultadas y numerosas. Sin embargo, las diferencias de carúncula y la de la línea blanca ocular entre machos y hembras, no ha podido ser confirmada como de valor para diferenciar sexos (Nascimento et al 2001). Nascimento et al (2001) encontraron mediante análisis discriminante diferencias significativas entre sexos en las medias de tarso, largo total de cabeza y culmen. En todo caso, es necesario confirmar en muchos casos el sexo mediante inspección de los genitales por eversión cloacal.

La especie madura entre los dos a cuatro años de edad y debe adquirir experiencia en mantener a su pareja en el ciclo anual, construir nidos, acompañar a su pareja en la postura y cuidar el nido (machos) durante la incubación. Posteriormente, ambos padres cuidan a un número variable de críos (1-6) por un período de prácticamente seis meses. Durante ese período de cuidado paternal, los padres deben cuidar a los pollos de los depredadores, agresividad de otras parejas y guiarlos a áreas óptimas de forrajeo.

Ambos miembros de la pareja eligen y construyen el nido que por lo general tiende a ser flotante; siempre se construye uno nuevo (no se utilizan nidos del año previo). El nido se construye con vegetación mordisqueada de los totorales, plantas natantes o incluso sumergidas. Los nidos se agregan y son más densos de acuerdo al tamaño del área circundante; es decir, existe una alta correlación entre el número de nidos y el tamaño del fragmento de totorales donde estos se establecen (Silva 2005, en prep.). Antes de comenzar la postura, el nido es tapizado con plumón de la hembra. El diámetro de los nidos varía entre 82 y 90 cm (Silva, 2005 en prep.). Los huevos son puestos cada dos días y pueden llegar hasta 8 y 9 excepcionalmente (observaciones de Luis Miranda, Guarda Fauna de CONAF en el Santuario). Huevos en número de 3 y 4 son los más comunes. La hembra es la única que incuba (abandona el nido solo de vez en cuando y por breve tiempo). El macho vigila la incubación en un área de más o menos 10 m y hasta 36 días después de la eclosión de los pollos. Suelen encontrarse nidos abandonados y huevos perdidos o flotantes.

El Cisne de cuello negro es territorial (de tipo 2 para cortejo y anidación, Hinde, 1956) y realiza despliegues para evitar el acercamiento de otros individuos. Los territorios estudiados miden entre 7 a 50 m² (Silva, 2005 en prep.). Esta ave tiende a nidificar en forma colonial, mientras los fragmentos vegetacionales posean la forma y tamaño como para dar cabida a más de dos parejas. En el Santuario, los primeros nidos fueron observados en la parte nor-este, la que por lo tanto se ha definido como la zona fundadora; el resto del área hacia el sur y terminal de la cuenca del río Cruces, se la ha denominado zona colonizadora (Silva, 2005 en prep.).

Los primeros registros de nidos fueron del período 1985-1986 con 57 nidos para llegar hasta un máximo de 753 durante la temporada 1998-1999. El número de nidos ha estado fluctuando en los últimos 5 años entre 561 y 585, lo que entrega una producción estimada anual de al menos 1.8 a 4.2 pollos en promedio por pareja. Si se estima que cada pareja en promedio produce 3.0 pollos, se puede concluir que a la fecha se han producido desde el inicio (57 parejas=nidos) al año 2003-2004 al menos 17.295 cisnes (esto sin cálculos de la mortalidad).

El Santuario se constituyó así, en el sitio más productivo y continuo en mantener una población reproductiva y estable de Cisnes de cuello negro. La temporada reproductiva comienza con la instalación de los nidos durante Junio – Julio, para terminar en Diciembre. En algunas ocasiones, se han observado parejas con pollos hasta Marzo. Los adultos reproductivos necesitan durante su ciclo anual de etapas de cortejo (Junio – Julio), postura (hasta ocho días con un promedio de cuatro huevos), incubación (36 días) y crianza que se alarga por hasta seis meses. Se completa un ciclo reproductivo de aproximadamente ocho meses para ser seguido por un período de aproximadamente cuatro meses, donde los Cisnes de cuello negro recuperan su condición física para la próxima temporada reproductiva.

Se supone que alrededor del 13-20 % de la población de Cisnes de cuello negro es la que se reproduce; el resto representaría la población no reproductiva (Schlatter et

al, 1991a y 1991b, Schlatter 1998, Silva 2005). Este último estamento de la población es el que se supone puede movilizarse entre humedales, mientras que las parejas reproductivas tenderían a permanecer en el lugar reproductivo (Schlatter 1998, Schlatter et al 2002).

16.7. Interacción con otras especies y el hombre

El Cisne de cuello negro interactúa en el Santuario y humedales adyacentes con sus competidores más cercanos, las taguas. La tagua más abundante es *Fulica armillata* que posee un rango de hábitat pajonal - aguas abiertas y que como el Cisne de cuello negro, consume plantas acuáticas como *E. densa* (85.3% de su dieta, Ruiz 1993). Otra especie de tagua mas esporádica y nomádica es *F. leucoptera*, la que también consume de forma preferencial esa planta (84.8% de su dieta, Ruiz 1993). Por lo tanto, ambas especies consumen el mismo alimento que el Cisne de cuello negro. Observaciones efectuadas por Ruiz (1993) Corti (1996) y Silva (2005 en prep) indican que las taguas pueden bucear y recoger plantas a mayores profundidades que el Cisne de cuello negro. Se han observado casos en que estos últimos le quitan a las taguas, las plantas recogidas por estas. Los Cisnes de cuello negro interactúan también con el Picureo (*Podilymbus podiceps*) con quien puede compartir territorialidad y agresiones (Silva 2005 en prep) y coipos. Este es un roedor herbívoro que se alimenta especialmente de rizomas de totoras (*Scirpus californicus*), saliendo del agua a pastorear a los pantanos y sectores terrestres cercanos con Gramineas y Juncaceas (Murúa et al 1982). La carpa introducida *Cyprinus carpio*, consume preferentemente restos orgánicos de plantas y no compite mayormente con el Cisne de cuello negro (Prochelle & Campos 1985). Otras especies que visitan el Santuario y humedales adyacentes son lobos marinos, huillines y visones con los que no se ha detectado mayor interacción. El hombre provoca en el Cisne de cuello negro, alerta, alarma, vocalizaciones, haldas a nado y vuelo. La distancia mínima para huir ante el hombre es al menos 15 m (Silva 2005 en prep).

Referencias

- CONAMA/UACH 2005 Estudios sobre origen de mortalidades y disminución poblacional de aves acuáticas en el Santuario de la naturaleza Carlos Anwandter, en la Provincia de Valdivia. 2° Informe de Avance. Convenio Complementario Especifico N° 1210-1203/2004-12-14. 141 pp.
- Corti P (1996) Conducta de alimentación y capacidad de forrajeos del Cisne de cuello negro (*Cygnus melanocorypha*, Molina, 1782) en humedales de Valdivia. Tesis de grado, Licenciatura en Medicina Veterinaria. Fac de Cis Veterinarias, Universidad Austral de Chile. 84 pp.
- Corti P & R P Schlatter (2002) Feeding ecology of Black-necked Swan in wetlands of southern Chile. *Studies of Neotropical Fauna and Environment* 37: 9-14.
- Fjeldsa J (1985) Origin, evolution, and status of the avifauna of the Andean wetlands. *Ornithological Monographs* 36: 85-112
- Goodall J D, A W Johnson & R A Philippi (1951) Las aves de Chile, su conocimiento y sus costumbres. Platt Establecimiento Graficos S.A. Buenos Aires. Argentina. Tomo II. 445 pp.
- Hellmayr C E (1932) The Birds of Chile. Zoological Series vol.19. Field Museum of Natural History. Chicago . USA. 472 pp.
- Mitchell S F & R T Wass (1994) Food consumption and faecal deposition of plan nutrients bu black swans (*Cygnus atratus* Latham) in shallow New Zealand lake. *Hydrobiologia* 306(3): 189-197
- Murua R, O Neumann & I Dropelmann (1982). Food habits of *Myocastor coypus* in Chile. In: The Worldwide Furbearer Conference Proceedings eds J.A Chapman & D Pursley. Frostburg, Maryland. : 544 - 558
- Nascimento J L X. J M Flores, B S Ataguile, M Koch, S B Scherer & P J Parreira dos Santos (2001) Biological aspects of the Black-necked Swan (*Cygnus melanocoryphus*) and Coscoroba Swan (*Coscoroba coscoroba*) in Rio Grande do Sul state, Brazil. *Melopsittacus* 4 (1): 31-38
- Olavarría C, N Coria , R P Schlatter, V Vallejos, R Hucke-Gaete, C Godoy , A Aguayo & D Torres (1999) Cisne de cuello negro *Cygnus melanocorypha* en el área de las islas Shetland del Sur y Peninsula Antártica. *Serie Científica INACH* 49: 79 –87.
- Peña M R de la (1999) Aves argentines, lista y distribución. Literature of Latin America. Buenos Aires. Argentina. 244 pp
- Prochelle O & H Campos (1985) The Biology of the introduced Carp *Cyprinus carpio* L. in the river Cayumapu, Valdivia, Chile. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 20: 65-82
- Rees E, R P Schlatter and others (2002) Recommendations, Scientific Committee of the 4th International Swan Symposium. *Waterbirds* 25 : 380 – 381
- Rottmann J & M V López-Callejas (1992) Estartegia Nacional de Conservación de Aves, UNORCH (Unión de Ornitólogos de Chile). Serie Técnica del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Dipiron 1(1) 16 pp.
- Ruiz J E (1993) Estudios ecológico de tres especies de Taguas residents en el Santuario de la Naturaleza del río Cruces. Tesis de grado Licenciado en Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile. 63 pp.

Schlatter R P, D K Aldridge, M M Romero y M E Hofman (1983) Ecological studies of Chilean ducks. in : E.H.Boyd,Ed. 1st Western Hemisphere Waterfowl and Waterbird Symp. Special Publication Canadian Wildlife Service for IWRB : 133 -137

Schlatter R P, J Salazar, A Villa y J Meza (1991a) Demography of Black - necked Swans, *Cygnus melancoryphus* in three chilean wetland areas. Wildfowl Supplement 1 : 88 -94

Schlatter R P, J Salazar, A Villa y J Meza (1991b) Reproductive Biology of Black-necked swans at three chilean wetland areas and feeding ecology ar Rio Cruces. Wildfowl Supplement 1: 268 – 271

Schlatter R P & A Simeone (1996) Subproyecto AVES. Proyecto de Fauna Terrestre y Acuática. ESTUDIO DE LINEA BASE. Segundo Informe de Verano. Geotecnia Consultores. Planta Celulosa Valdivia, Celulosa Arauco y Constitución. 12 pp mas tablas y anexos

Schlatter R P (1998) El Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) en Chile. en V.Valverde, Ed. La Conservación de la Fauna Nativa de Chile, Logros y Perspectivas. CONAF: 121-131

Schlatter R P, R A Navarro & P Corti (2002) Effects of El Niño – Southern Oscillation on Numbers of Black-Necked Swans at Río Cruces Sanctuary, Chile. Waterbirds 25 :114 – 122

Schlatter R P (2004). Distribución del Cisne de cuello negro en Chile y su relación con el sistema físico ambiental, Cordillera de la Costa. en Libro sobre Biodiversidad Cordillera de la Costa. Eds Cecilia Smith-Ramírez, Sandra Claros y otros.

Schlatter R P (2005) Ornitogeografía y nomadismo de aves acuáticas del altiplano y cono sur neotropical, aporte de la CMS en la conservación de especies compartidas. Conferencia en Simposio de Humedales Altoandinos, 16.02.2005, Centro Cultural America, Salta, Argentina.

Seijas M S (1996) Identificación individual en el Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) a traves de la linea ocular. Ornitología Neotropical 7 : 171 – 172

Silva C P (2005). Estrategias reproductivas del Cisne de cuello negro *Cygnus melancoryphus* en el Santuario de la Naturaleza del río Cruces. Tesis de Licenciatura en Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile. en prep.

Venegas C (1994) Aves de Magallanes. Ediciones Universidad de Magallanes Punta Arenas 158 pp.

Villaruel M (2000) Presencia de Cisnes de cuello negro en playas de Taltal, II región. Boletín Chileno de Ornitología 7: 32

17. Estado actual de la salud ambiental del Santuario

Los resultados de este estudio permiten llegar a las siguientes conclusiones, en cuanto a salud ambiental del Santuario:

- i) La zona del río Cruces, ubicada aguas abajo de la ubicación de la Planta Valdivia de CELCO, difiere en cuanto a su calidad de agua en comparación a la zona ubicada aguas arriba de ese complejo industrial.
- ii) Durante el periodo de funcionamiento de CELCO, se han observado aportes importantes en concentración y carga de la mayoría de las variables analizadas entre las estaciones antes y después del punto de descarga de los efluentes de CELCO. Las mayores diferencias se encontraron en variables como la conductividad, Sólidos Disueltos inorgánicos, DBO₅ y DQO.
- iii) Al comparar las características fisicoquímicas de la columna de agua durante Enero del 2005 con datos anteriores al inicio de las operaciones de CELCO (datos de los años 1995, 1996, 2002 y 2003), se observaron diferencias significativas en la mayoría de las variables analizadas. Los análisis multivariados, realizados en esta matriz de datos sugieren cambios significativos en la calidad del agua de las estaciones ubicadas antes y después del punto de descarga de CELCO y aquella a la entrada del humedal. Esos mismos análisis sugieren que dichos cambios son menores en la estación ubicada antes de la descarga de CELCO. Similares resultados surgen al comparar la calidad del agua durante el periodo 2004-2005 (etapa de funcionamiento de CELCO) con el período anterior al funcionamiento de la Planta.
- iv) Existen diferencias (aportes netos) de carga neta diaria, asociadas a las características de la calidad de la columna de agua del río Cruces en el período Abril del 2004 a Enero del 2005, en el sector del río Cruces que incorpora la descarga del Ril de CELCO. Esas diferencias corresponden a

incrementos en la DBO₅, DQO, Nitrógeno total, Sólidos Suspendidos inorgánicos, Sólidos Disueltos, Hierro soluble, Zinc, Sulfato, Clorato, Cloruro, Sodio y AOX.

- v) Los sedimentos de los fondos del Santuario presentan concentraciones más altas de metales pesados como Hierro y Manganeseo que los sedimentos de los ríos Calle-Calle y Valdivia.
- vi) Prácticamente no existe Luchecillo (*Egeria densa*) en el Santuario y humedales adyacentes. Desde la constatación de la desaparición de esta planta acuática durante Octubre del 2004, no se observa a la fecha (Abril del 2005), recuperación significativa de la misma. También se observa un deterioro evidente en plantas que se encontraban en buen estado, como las que se localizan en el río Valdivia.
- vii) También en esa ocasión desaparecieron la Hierba guatona (*Limnobium laevigatum*) y la Peste de aguas (*Elodea canadensis*). Sin embargo, hay que aclarar que la Hierba guatona había aparecido en el Santuario alrededor de 1995 y que la Peste de aguas, nunca fue muy abundante.
- viii) Cuando se detectó la desaparición del Luchecillo en Octubre del 2004, las especies nativas de Huiro *Potamogeton lucens* (Huiro verde) y *Potamogeton berteroi* (Huiro rojo), se encontraban sanas y sin daño aparente, hoy en día (Abril 2005), están siendo afectadas por gran cantidad de epífitos que las debilitan y matan.
- ix) Diferentes investigadores de este estudio realizaron aproximadamente 40 campañas de terreno al Santuario y humedales adyacentes, tanto en lanchas de la Gobernación Marítima de Valdivia, como de la CONAF y la UACH. Aún así, no se constató la presencia de vertebrados muertos, aparte de Cisnes de cuello negro y un espécimen de Lisa (*Mugil cephalus*).

- x) Los análisis estadísticos de los datos de censos de aves llevados a cabo por CONAF, muestran que aparte de las abundancias del Cisne de cuello negro, las de las Taguas y Taguitas, también disminuyeron significativamente durante el año 2004 e inicios del 2005.

- xi) Análisis similares a los anteriores muestran que las abundancias de otras aves comunes en el humedal, como la Garza cuca, Garza grande, Garza chica, Huala, Pato yeco y Pato anteojo, no han disminuido en el tiempo; solo muestran fluctuaciones de tipo estacional.

- xii) Parte de los Cisnes de cuello negro del humedal del río Cruces han emigrado a otros humedales, ya sea cercanos al mismo o a otros, como los ríos Calle-Calle y Valdivia. De un promedio de aproximadamente 5000 cisnes presentes durante el año 2003, persisten en el humedal aproximadamente 220 (datos de la UACH; 11 de Abril del 2005), a la vez que cerca de 800 se ubican en cauces tributarios y aproximadamente 2050 en humedales cercanos a Valdivia. En base a las estimaciones de mortalidad de Cisnes de cuello negro realizadas por CONAF y el SAG (aproximadamente 300 especímenes entre Agosto del 2004 y Marzo del 2005), puede concluirse que aproximadamente 1600 cisnes emigraron a otros humedales de los aquí estudiados, algunos alejados de Valdivia (e.g. Lago Budi, Lanalhue, costa de Puerto Montt).

- xiii) Los estudios de ictiofauna llevados a cabo en el río Cruces, aguas arriba del Santuario, muestran que la diversidad y abundancia de peces es similar o mayor que la previamente conocida (resultados de Línea Base de CELCO). Los análisis de histogramas de clases de talla para las especies más abundantes demuestran que ha habido reclutamiento de juveniles y por lo tanto, el proceso reproductivo de esas especies no se vio afectado durante el año 2004.

- xiv) La fauna de invertebrados bentónicos de los fondos ritrales del río Cruces, aguas arriba del Santuario, muestra una alta riqueza de especies, algunas de ellas en abundancias relativamente altas.
- xv) Similar a lo anterior, la diversidad y abundancia de la fauna de invertebrados bentónicos de fondos sedimentarios ubicados en las orillas del río Cruces, tanto aguas arriba del Santuario como a lo largo del mismo y en cauces tributarios, es la habitual para este tipo de ambientes estuariales. En algunas de las estaciones para las cuales se tenían registros históricos (Línea Base de CELCO), la abundancia de algunos de esos invertebrados ha aumentado en el último tiempo, mientras que en otros ha disminuído. Puede concluirse entonces que los cambios registrados a la fecha, no guardan relación con la operación de la Planta Valdivia de CELCO.
- xvi) Las concentraciones de dioxinas y furanos en tejidos musculares de Cisnes de cuello negro y plantas de *Egeria densa* del Santuario están cerca del nivel mínimo de detección (ANEXO IX).
- xvii) En base a todo lo anterior, se concluye que a la fecha, persiste en el Santuario y humedales adyacentes, una alta diversidad de plantas y animales. Básicamente, tres especies de plantas de un total aproximado de 80 especies de la flora hidrófila del humedal, se han visto afectadas por mortalidad (el Luchecillo, la Hierba guatona y la Peste de aguas), a la vez que dos se han visto afectadas por epífitos que las debilitan y eventualmente, matan (el Huiro verde y el Huiro rojo). Para el caso de la avifauna, se tiene que tres de las aproximadamente 30 especies conocidas para el humedal se han visto afectadas, ya sea por mortalidad o emigración (el Cisne de cuello negro, la Tagua y la Taguita).
- xviii) Exceptuando el caso de la avifauna, para la cual existe una rica base de datos, las conclusiones anteriores referidas a la matriz biológica del

Santuario, están primariamente basadas en análisis puntuales realizados durante este estudio. Por lo tanto, el diagnóstico aquí presentado, solo se refiere a la situación actual y no puede utilizarse para argumentar que cambios futuros no puedan ocurrir a más largo plazo, como producto de los cambios, por ejemplo, en la calidad del agua del río Cruces que han ocurrido en el último tiempo.

18. Hipótesis puestas a prueba para explicar la mortalidad del Cisne de cuello negro y la desaparición del Luchecillo en el Santuario y cauces tributarios del río Cruces

A continuación se describen los problemas analizados en este estudio, las hipótesis presentadas para explicar los patrones observados, los estudios realizados para poner a prueba las hipótesis y las razones de la aceptación o rechazo de las mismas.

Problemas	Hipótesis	Estudios	Conclusiones
<u>1. Mortalidad y emigración de Cisnes de cuello negro</u>	La mortalidad de los cisnes se debe a enfermedades específicas	Análisis sanitarios y virológicos	<u>Se rechaza la hipótesis</u> , debido a que no se detectó la presencia de patógenos productores de enfermedades específicas
	La mortalidad de los cisnes se debe a la acumulación de tóxicos en sus tejidos corporales	Análisis de concentraciones de compuestos organoclorados, organofosforados, compuestos fenólicos y metales pesados en hígados y riñones Análisis de dioxinas en tejidos musculares de cisnes	<u>Se rechaza la hipótesis</u> , ya que no se encontraron compuestos orgánicos en los tejidos analizados, las concentraciones de metales pesados estuvieron dentro del rango conocido para aves silvestres, y las dioxinas y furanos en cantidades mínimas. Sin embargo, no se ha demostrado experimentalmente o empíricamente que esas altas concentraciones de Hierro afecten o no a los cisnes

La mortalidad y emigración de los cisnes, está relacionada a la disminución y desaparición de su alimento primario, el Luchecillo

Análisis del peso y contenido estomacal de los cisnes

Se acepta la hipótesis, debido a que el análisis de los pesos de los cisnes, muestra valores significativamente más bajos que en años anteriores y a la falta de restos de Luchecillo en los estómagos de las aves

2. Disminución y desaparición del Luchecillo en el Santuario y cauces tributarios

La desaparición y/o disminución de la cobertura del Luchecillo, está relacionada a sobreforrajeo resultante de aumentos en las abundancias de los cisnes durante el año 2004

Análisis de series de datos anuales (censos de cisnes) obtenidos por la CONAF

Se rechaza la hipótesis, debido a que las abundancias de los cisnes durante el 2004 no fueron más altas que en años anteriores, y a que altas abundancias de cisnes en el pasado, no resultaron en la desaparición y/o disminución de la cobertura del Luchecillo

Aumento en la radiación ultravioleta durante el año 2004, resulta en la desaparición y/o disminución de la cobertura del Luchecillo

Análisis estadísticos de series de datos recolectados por el Instituto de Física de la UACH

Se rechaza la hipótesis, ya que aún cuando se detectaron diferencias interanuales significativas en las variables que describen la radiación ultravioleta, los valores de las mismas no fueron más altas durante el año 2004

La desaparición y/o disminución de la cobertura del Luchecillo, es el resultado de procesos cíclicos naturales en esta planta

Análisis de observaciones no publicadas de Carlos Ramírez (Instituto de Botánica, UACH)

Se rechaza la hipótesis, debido a que en los últimos 20 años, no se ha observado mayor variabilidad interanual en la cobertura de Luchecillo, menos aún mortalidad como la observada durante el 2004

La desaparición y/o disminución del Luchecillo es el resultado de acumulación de tóxicos en sus tejidos

Revisiones bibliográficas, estudios de concentraciones de tóxicos en remanentes de plantas recolectadas en el Santuario y fuera de este y experimentos de laboratorio y terreno

Se acepta la hipótesis, ya que las concentraciones de metales pesados encontradas en plantas de Luchecillo del Santuario, fueron significativamente más altas que las registradas en plantas fuera del mismo, concentraciones similares o más bajas, han sido reportadas como nocivas en plantas acuáticas y otras especies de *Egeria* en otros humedales, y los resultados de experimentos de laboratorio muestran que metales disueltos en el agua, como Hierro y Cobre, afectan la sobrevivencia de esta planta, interfiriendo por ejemplo con el proceso de fotosíntesis.

3. Calidad del agua y sedimentos

Existe una carga importante de químicos en el agua y los sedimentos

Muestreos de aguas y sedimentos para determinación de variables físico-químicas, análisis de

Se acepta la hipótesis, ya que se encontraron en el agua del río Cruces, compuestos en

4. Origen de los cambios en la calidad del agua del río Cruces

Aumentos de la pluviometría y caudales hídricos durante el 2004, provocaron el arrastre de sedimentos con altos contenidos de por ejemplo, metales pesados como Hierro a las aguas del río Cruces

monitoreos de Riles de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de Lanco y San José de la Mariquina y análisis de datos históricos (monitoreos ambientales de CELCO)

Análisis estadísticos de series de datos de pluviometría y caudales, recolectados por el Instituto de Geociencias de la UACH y la Dirección General de Aguas-Valdivia

concentraciones más altas de lo permitido por la normativa ambiental, las concentraciones de varias variables han aumentado en el tiempo y el contenido de metales pesados en los sedimentos del Santuario es mayor que en el sedimento de estuarios aledaños (Calle-Calle y Valdivia)

Se rechaza la hipótesis, ya que no hay diferencias significativas en la cantidad de agua caída o caudales durante el 2004 vs. años anteriores.

Uso de pesticidas en la cuenca del río Cruces y arrastre de los mismos por lluvia y escorrentía superficial resultó en incrementos de los mismos en el agua lo que habría afectado la flora y fauna de del Santuario

Análisis de las cantidades y volúmenes de pesticidas usados en el área, de los componentes activos de los mismos y de la pluviometría durante el 2004

Se rechaza la hipótesis, ya que muy pocos pesticidas contienen metales pesados, a que el glifosato (componente activo de uno de los pesticidas más usados) es de difícil lixiviación, a que la cantidad de lluvia caída durante el 2004 (probable agente lixivador) no difirió significativamente de la caída en años anteriores y a que en menos del 50% del suelo de la cuenca se usan pesticidas

Residuos de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de Lanco y San José de la Mariquina producen un aporte importante de químicos al sistema acuático

Análisis de concentraciones, aportes y cargas de químicos de esas Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas

Se rechaza la hipótesis, ya que los aportes en cargas son de una magnitud significativamente menor si se comparan con las aportes en cargas de otras fuentes directas

	<p>Debido a la magnitud del caudal de su efluente y la diversidad de químicos de sus Riles, las altas concentraciones de por ejemplo, metales pesados en el Santuario, provienen de la actividad industrial de CELCO</p>	<p>Análisis de datos obtenidos por la UACH, revisión de informes de monitoreos ambientales de CELCO y cálculos de cargas de sus Riles y de las aguas del Santuario.</p>	<p><u>Se acepta la hipótesis</u>, ya que el aporte de las cargas de químicos de CELCO a la carga natural del Santuario es significativa, cambiando la calidad del agua aguas abajo de su efluente</p>
<p>5. Registro de aportes nuevos de químicos al sistema hídrico</p>	<p>Existe un aporte sostenido, reciente y no natural de químicos como metales pesados, desde la columna de agua al sedimento, lo que queda registrado en los fondos sedimentarios del Santuario</p>	<p>Análisis estratigráficos de concentraciones de metales pesados en el sedimento y cálculos de tasas de sedimentación</p>	<p><u>Se acepta la hipótesis</u>, ya que la distribución de las concentraciones de metales pesados en la columna de sedimentos no es homogénea, observándose un incremento en la concentración de los mismos, en un estrato que indica un tiempo reciente</p>
<p>6. Relación entre cambios en la calidad de agua y procesos de depositación de químicos registrados en el sedimento</p>	<p>El estrato sedimentario que contiene las mayores concentraciones de metales pesados, refleja el nexo entre ese proceso y el aumento de químicos en el sistema hídrico, producto de los aportes de los mismos por parte de CELCO</p>	<p>Análisis comparativos en el tiempo de la calidad del agua del río Cruces (datos provenientes de los monitoreos de CELCO)</p>	<p><u>Se acepta la hipótesis</u>, ya que el tiempo aproximado de cuando ocurrió el proceso de depositación de químicos coincide con los inicios de las actividades industriales de CELCO</p>

7. Estado de salud ambiental del Santuario

Los cambios ocurrentes en la calidad del agua durante el año 2004, han afectado negativamente a otros organismos, aparte de especies de aves que usan como principal fuente de alimento plantas de Luchecillo

Análisis de muestreos de invertebrados bentónicos en fondos sedimentarios y ritrales y de la ictiofauna aguas arriba del Santuario y comparaciones con datos históricos (Línea Base de CELCO)

Se rechaza la hipótesis, ya que la diversidad y abundancia de invertebrados bentónicos de fondos sedimentarios no ha cambiado significativamente en el tiempo, a que la diversidad y abundancia de invertebrados de fondos ritrales es alta y a que la ictiofauna del área no ha cambiado de modo significativo en relación al pasado, se ha reproducido y ha habido reclutamientos

19. Conclusiones

Los resultados de este estudio permiten proponer el siguiente escenario para explicar la mortalidad y emigración de Cisnes de cuello negro y la disminución y desaparición del Luchecillo, en el área del Santuario y cauces tributarios del río Cruces.

- 1) La causa primaria de la muerte de los Cisnes de cuello negro del santuario y humedales adyacentes, fue inanición debido a la disminución y/o desaparición de su alimento primario, el Luchecillo (*Egeria densa*).
- 2) Estudios de variables fisiológicas sugieren además depresión inmunológica secundaria al estado de desnutrición (ver ANEXO V).
- 3) No se descarta que las altas acumulaciones de Hierro en el hígado de los cisnes (hemocromatosis), resulten de la ingesta de plantas con altos contenidos de este metal pesado.
- 4) Estudios serológicos muestran que estas aves no murieron por causa de enfermedades infecto-contagiosas.
- 5) El Luchecillo demostró ser una especie bastante lábil, lo que puede ser explicado debido a que es una especie de reproducción asexual, de escasa variabilidad genética y por lo tanto, muy susceptible a ser afectada en forma masiva.
- 6) La desaparición del Luchecillo originó además, la emigración de los Cisnes de cuello negro del humedal del Santuario y cauces tributarios, así como presumiblemente la de otras aves como Taguas y Taguitas, cuyo alimento primario es *Egeria densa*.

- 7) El análisis de la variabilidad interanual en la radiación ultravioleta que afecta a la zona de Valdivia, muestra que aún cuando se detectaron diferencias interanuales significativas en esta variable (ver ANEXO VII referente a Radiación Ultravioleta), los valores más altos no ocurrieron durante el 2004. Por lo tanto, y aún cuando no se ha estudiado experimentalmente cuales son los niveles de radiación que afectan al Luchecillo, puede descartarse la hipótesis, de que aumentos en la intensidad de la luz ultravioleta durante ese año resultaron en la desaparición de *Egeria densa*. Por otra parte, si la luz ultravioleta hubiese sido causal de tal desaparición, tal fenómeno debería también haber afectado a poblaciones ubicadas fuera del Santuario como aquellas del río Calle-Calle que se mantienen en buen estado.
- 8) Aún cuando no se realizó un estudio detallado de eventuales cargas de pesticidas a las aguas del Santuario, existen varias razones que permiten descartar la hipótesis de que compuestos de este tipo podrían haber escurrido a las aguas del Cruces y haber afectado las poblaciones de Luchecillo: i) en general, no se encontraron compuestos organoclorados u organofosforados en remanentes de plantas de Luchecillo y en los sedimentos donde estas se asientan, ni tampoco productos de descomposición de estos tipos de pesticidas, aún cuando se detectó tributilfosfato en algunas muestras de agua asociada a *Egeria densa* que estaban notoriamente dañadas. Sin embargo, esto no constituye elemento de prueba suficiente, para señalar que este compuesto sea un vestigio de una posible descarga ocasionada al Santuario y que haya causado el deterioro de la planta, pues éste se degrada aeróbicamente en 4-7 días en cuerpos de agua natural, ii) solo un escaso grupo de pesticidas (tanto en tipo como cantidad) incluye entre sus componentes activos a metales pesados como Cobre, Manganeso, Zinc y Bromo, iii) el glifosato, herbicida de mayor uso dentro de los pesticidas, no es de fácil lixiviación, y iv) la cantidad de lluvia caída durante el 2004 no difiere

significativamente de la caída en años anteriores; es decir, no hay argumentos para hipotetizar que durante ese año hubo un mayor lavado de suelos ricos en metales pesados debido a mayores precipitaciones y/o caudales (ver ANEXO VIII referente a Pluviometría y Caudales de los ríos Cruces, Calle-Calle e Inaque).

- 9) Los análisis toxicológicos y de microscopía electrónica de barrido en plantas de Luchecillo recolectadas en diferentes sectores del Santuario y humedales adyacentes, mostraron altas concentraciones de metales pesados en las mismas (primariamente Hierro y Manganeso). Los resultados de análisis bibliográficos y experimentos de laboratorio (ver Segundo Informe de Avance y ANEXO VI) llevan a concluir que la disminución y/o desaparición del Luchecillo fue causada por las altas concentraciones de metales pesados en las mismas, fundamentalmente Hierro.
- 10) La bioacumulación intracelular de Hierro en plantas, resulta en la formación de radicales libres lo que afecta a proteínas y lípidos y determina la formación de polifenoles como medio de protección; este último proceso produce un color marrón en las plantas de Luchecillo.
- 11) Las enormes cantidades de Luchecillo depositadas en el fondo del Santuario, podrían haber originado condiciones reductoras que habrían favorecido la solubilización de Hierro desde los sedimentos hacia la columna de agua, quedando biodisponible.
- 12) La probable solubilización de Hierro hacia la columna de agua, explicaría además la aparición de aguas color marrón en el Santuario y cauces tributarios, las que durante mareas de sicigia han alcanzado hasta las aguas de los estuarios de los ríos Calle-Calle y Valdivia.

- 13) El contacto de ese Hierro con el oxígeno resultante de los procesos fotosintéticos del Luchecillo, podría haber resultado en la precipitación de este metal sobre la superficie de las plantas sobrevivientes, el que en contacto con el mucílago producido por las mismas habría contribuido a la formación de la cubierta coloide-plancton. Esta cubierta a su vez, habría afectado negativamente la fotosíntesis de las plantas vía disminución de la cantidad de luz que llega a las mismas.
- 14) La desaparición y/o disminución de la cobertura del Luchecillo, habrían dejado nutrientes disponibles en la columna de agua lo que habría facilitado el aumento explosivo del fitoplancton en el Santuario, contribuyendo al color marrón de las aguas.
- 15) No debe olvidarse también que la ausencia del Luchecillo, habría favorecido la resuspensión de los sedimentos, lo que habría resultado en disminución de la transparencia del agua.
- 16) La misma disminución de la transparencia (y consecuentemente de la actividad fotosintética), la depositación de Hierro sobre las plantas de Luchecillo y el forrajeo de cisnes y taguas sobre los escasos remanentes de las plantas, pueden explicar el hecho de que a la fecha no se observa recuperación de *Egeria densa* en el Santuario y cauces tributarios.
- 17) Sin embargo, los resultados de experimentos de terreno muestran que plantas sanas de Luchecillo protegidas del forrajeo de los cisnes, son capaces de sobrevivir en aguas del Santuario. Esto sugiere que las concentraciones de metales que en un momento habrían afectado a esta planta, fueron más altas que las actuales, lo que apoya los resultados que se señalan más adelante.

- 18) Los resultados de los estudios de calidad ambiental realizados durante la primavera del 2004 y verano del 2005, muestran altas concentraciones de metales pesados como Hierro y Manganeso en los sedimentos y las aguas del Santuario y humedales adyacentes. Esos estudios muestran también que esas aguas tienen valores altos de conductividad eléctrica, concentración de sólidos particulados y disueltos, y abundancias poblacionales de microalgas filamentosas, lo que resulta en el color marrón de las mismas. Esta situación ha persistido por meses, notándose a la fecha (mediados de Abril del 2005) una leve atenuación del fenómeno.
- 19) Los análisis de perfiles sedimentológicos obtenidos en diferentes áreas de depositación del Santuario, muestran mayores concentraciones de metales pesados (Hierro, Manganeso y Aluminio, primariamente) en el estrato superior del sedimento. En base a cálculos de tasas de sedimentación en esas áreas y a los perfiles biogeoquímicos del sedimento, puede concluirse que esas altas concentraciones, son el resultado de un proceso reciente y cuya ventana temporal se aproxima al período Marzo-Abril del 2004.
- 20) Tal proceso habría resultado en la introducción en el sedimento de metales pesados provenientes de la columna de agua.
- 21) Entre las fuentes posibles de ingreso de contaminantes al ecosistema del río Cruces, están el uso de pesticidas en actividades agrícolas y forestales, las actividades de movimiento, extracción y lavado de áridos, las descargas de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de Lanco y San José de la Mariquina, y las actividades industriales de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO) en Mariquina.

- 22) Relevamientos fotográficos realizados en áreas aledañas al río Cruces, muestran que el movimiento, extracción y lavado de áridos, produce un impacto ambiental sobre las riberas y cauces hídricos. Sin embargo, los resultados de los análisis realizados en este estudio y los de análisis similares en zona de extracción de áridos de Puerto Varas, muestran que los Riles de esta actividad producen primariamente aportes en sólidos suspendidos y disueltos, sin incidir mayormente en otras variables como conductividad y pH, por ejemplo.
- 23) El análisis de las características de los Riles evacuados por las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de Lanco y San José de la Mariquina a las aguas del río Cruces, muestra que las descargas de las mismas no sobrepasan los límites establecidos en el DS90/00 Minsegpres.
- 24) Debe considerarse que la columna de agua del sector del río Cruces ubicado inmediatamente aguas arriba de las instalaciones de CELCO, ya incorpora los eventuales aportes de cargas provenientes de actividades asociadas a zonas de movimiento, extracción y lavado de áridos, y de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de Lanco.
- 25) El estudio de los riles de CELCO, muestra que estos incluyen metales pesados como los encontrados en los sedimentos y aguas del río Cruces, además de otros, componentes inorgánicos como Sulfatos, Cloratos y Cloruros.
- 26) Las cargas asociadas a los riles del efluente de CELCO que descarga al río Cruces, inciden significativamente en la carga natural de las aguas del mismo, específicamente en Conductividad, Sólidos Suspendidos inorgánicos, Sólidos Disueltos, Sulfatos y Cloratos, entre otros.
- 27) Paralelamente, al analizar los aportes de cargas netas diarias entre las diferentes estaciones que CELCO monitorea periódicamente en el río

Cruces, se constata que en el tramo que incorpora la descarga del Ril de esta empresa al medio acuático, ocurre un cambio significativo en la calidad de la columna de agua, analizado como aporte de concentración. Por ejemplo, se constata un aporte de cargas netas diaria promedio del período de análisis (Abril-Diciembre del 2004) de 295 kg/día de Hierro soluble a la columna de agua. Sin embargo, los antecedentes disponibles (informes ambientales de CELCO) permiten estimar que el efluente de CELCO en el río Cruces solo estaría aportando una carga neta diaria promedio del período de aproximadamente 5 kg/día.

- 28) En el tramo del río Cruces anteriormente mencionado, no hay otras descargas puntuales conocidas de este elemento, por lo que esas diferencias de cargas permanecen como una incógnita.
- 29) Durante todo el período de análisis (Abril-Diciembre del 2004), uno de los parámetros de alta incidencia en la diferencia de cargas, ocurrente en el tramo de la descarga de CELCO, lo constituye de forma sistemática, el Sulfato (Sulfato de Aluminio), con un aporte neto promedio diario equivalente a aproximadamente 40 toneladas/día. Esta carga equivale a un aumento en la concentración de Sulfato <8.33 mg/L.
- 30) Es conocido que el Sulfato de Aluminio, es un agente floculante de cationes, como el Hierro soluble. Por lo tanto, un exceso de Aluminio en la columna de agua, puede resultar en la precipitación del Hierro soluble.
- 31) Los flóculos de Hierro y metales asociados a los mismos, debido a la capacidad dieléctrica de atracción por parte del Hierro, forman partículas de masa mayor, aumentando de este modo la velocidad de sedimentación y la posibilidad de depositación de los mismos.
- 32) Tales flóculos tienen la posibilidad de depositarse en aquellas áreas donde ocurren menores velocidades del cauce, profundidades más someras o frenos hidráulicos, como ondas mareales. Para el caso

- específico del río Cruces, el ingreso de la onda mareal ocurre aparentemente hasta el cabezal o parte superior del Santuario (sector Fuerte San Luis).
- 33) La precipitación de tales flóculos resulta en la acumulación de Hierro en los sedimentos del fondo y también en organismos bentónicos como plantas acuáticas.
 - 34) Si tales flóculos llegan a zonas reductoras del fondo, el proceso se revierte y parte del Hierro precipitado se redisuelve (solubiliza) en la columna de agua, donde puede ser bioacumulado por las plantas y eventualmente biomagnificado por los animales que consumen las plantas (e.g. Cisne de cuello negro).
 - 35) Basado en los muestreos realizados por la UACH y en los datos entregados por CELCO en sus informes periódicos de monitoreos ambientales (disponibles en la página WEB de CONAMA), se concluye que han habido cambios significativos en la calidad del agua del río Cruces, después del inicio de la operación de la Planta Valdivia.
 - 36) El análisis de los datos de los monitoreos ambientales de CELCO y de los estudios realizados por la UACH en las mismas estaciones de muestreo del estuario del río Cruces, indica que las concentraciones de químicos vertidos en los Riles de CELCO, bastan para explicar la floculación y depositación de metales pesados y que está registrado en los sedimentos del Santuario, con una datación que corresponde aproximadamente al otoño del 2004.
 - 37) Por lo tanto y basados en toda la data analizada, se concluye que las actividades de la Planta Valdivia de CELCO han incidido de forma significativa en los cambios ambientales que han ocurrido en el humedal del río Cruces durante el último año. Dicho de otro modo, se habría superado rápidamente la capacidad de carga del estuario del río Cruces.

20. Recomendaciones

Las recomendaciones que se entregan a continuación, toman en cuenta varios aspectos: i) el caso específico de la muerte del Luchecillo y su consecuencia sobre las poblaciones del Cisne de cuello negro y otras aves, ii) el estado actual de salud ambiental del Santuario, iii) los efectos presentes y futuros de la actividades productivas que afectan directa e indirectamente al Santuario y a la cuenca del río Cruces, en general, iv) los cambios naturales de mesoescala que están ocurriendo en la cuenca, y v) la necesidad de contar a la brevedad con una Norma Secundaria que considere las características estuariales del río Cruces y que tienda a preservar o mejorar la calidad sobre de las aguas de la cuenca, ya sean superficiales o subterráneas.

20.1. En relación a temas conceptuales

Una de las claves del problema de los cambios ambientales detectados en el Santuario, dice relación con la condición estuarial del río Cruces y cauces tributarios, es decir en la capacidad de acumular sustancias disueltas, coloidales y particuladas, debido a la interacción de corrientes de marea y aguas salobres, situación que no ocurre en los ríos. Aún cuando no existe información científica confiable acerca de las características de la estratificación halina, es posible predecir por comparación con el estuario del río Valdivia, que esta se extiende durante el verano al menos hasta el sector del Fuerte San Luis, debido a los enormes ingresos de flujos de agua movidos por la energía mareal (del orden de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ en sicigia). Lo anterior lleva a las primeras recomendaciones que se proponen en este Capítulo:

- i) Realizar estudios batimétricos, hidrodinámicos y de cálculos de residencia de aguas en el estuario del río Cruces y al menos, el canal mareal Cau-Cau.

- ii) Separar en las normativas medioambientales chilenas, los ríos de los estuarios, por las razones antes mencionadas.

20.2. En relación al comportamiento natural del Santuario

La evidencia empírica muestra que independiente de las actividades antrópicas en la cuenca del río Cruces, extensas áreas del Santuario y cauces tributarios (e.g. en ríos Pichoy y Cayumapu), están entrando en proceso de colmatación de sedimentos. Es necesario entonces evaluar las actuales tasas de sedimentación, además del eventual levantamiento del fondo del mismo, con el objetivo de predecir futuros cambios en la profundidad de los cauces y modificaciones en las orillas del Santuario. Tales modelos predictivos deberán incluir además otras variables físicas que pudiesen estar siendo afectadas por la actividad antrópica; por ejemplo, cambios en el caudal del río por uso excesivo de las aguas.

20.3. En relación a actividades realizadas en la cuenca del estuario del río Cruces y cauces tributarios

El desarrollo de este estudio, ha mostrado que diversas actividades pueden incidir en modificaciones de la calidad del agua del estuario del río Cruces y humedales adyacentes. Se hace necesario entonces, realizar un balance total y un modelo de los aportes y cargas de cada una de esas actividades, incluyendo fuentes difusas (como el uso de pesticidas y fertilizaciones en la agricultura e industria forestal, el movimiento y lavado de áridos, la disposición de aceites en tierra, etc.), directas (como el caso de las aguas servidas que se vierten directamente al RÍO Cruces o vía plantas de tratamiento, además del caso específico de la Planta Valdivia de CELCO) o indirectas (e.g. lecherías u otras descargas que descargan a cunetas o arroyos que ingresan a la cuenca).

20.4. En relación a las actividades de la Planta Valdivia de CELCO

Para el caso específico de CELCO, es necesario puntualizar los siguientes aspectos:

- i) Si bien las concentraciones de los Riles de CELCO, pueden estar bajo los límites de las Normas Ambientales establecidas, la modificación de la calidad del agua y la magnitud y frecuencia de los aportes de cargas residuales al sistema hídrico, podrían conllevar a la ocurrencia de procesos no evaluados o desconocidos, en el complejo ambiente del humedal.
- ii) Muchas variables que registran incrementos en la columna de agua del estuario del río Cruces (e.g. Sulfato), no son simultáneamente monitoreados en el Ril de CELCO. Esto es necesario, como único modo de evaluar aportes y cargas, tanto las residuales como las asociadas a las aguas del río Cruces. Es necesario implementar monitoreos paralelos de 24 horas, tanto para el Ril como para el cuerpo de agua, según metodología establecida en el DS N°90/00 Minsegres, incorporando en el Ril todas las variables que son analizadas en el cuerpo de agua receptor, además de fracciones inorgánica y orgánica de Sólidos Suspendidos, Sólidos Disueltos Aluminio, Sodio, Sulfato, y Clorito, entre otros).
- iii) Es importante determinar a la brevedad posible el origen de los altos aportes de Sulfato (≈ 39.1 ton/d) en el tramo comprendido entre la estación de muestreo ubicada antes de la planta de CELCO y la ubicada después del efluente de la misma (puente Rucaco), ya que el Aluminio relacionado a este podría estar actuando como agente coagulante, produciéndose diversas atracciones electrostáticas que concentrarían partículas, las que finalmente pueden llegar a flocular. A eso hay que sumar, las propias reacciones físico-químicas y biológicas ocurrientes en la columna de agua,

que al ingreso de un sistema hídrico con menor velocidad (cabezal o parte superior del Santuario con mayor tiempo de retención hidráulico) y una mayor abundancia de trampas naturales (vegetación acuática), pueden dar paso a retenciones y/o depositaciones y a numerosas reacciones sinérgicas en cadena.

- iv) Se hace absolutamente necesario que CONAMA lleve un registro continuo (y actualizado) de las facturaciones de insumos que CELCO realiza. Los compuestos químicos utilizados como insumos en los procesos o los resultantes del uso de los mismos, deben también ser monitoreados en los Riles y las aguas del Cruces; además de contar con antecedentes de datos de autocontrol, registro de pérdidas de licor negro y programa de descarga de la laguna de emergencia.

20.5. En relación a geocronología y acumulación de metales pesados en el sedimento

Los análisis de geocronología realizados en este Estudio, han sido de utilidad para identificar procesos de depositación de metales pesados en el sedimento. En base a todos los datos analizados, se ha concluido que lo más probable es que esa acumulación haya tenido su origen en causas antrópicas. La misma herramienta debiera ser utilizada como modo de monitorear en el tiempo, la evolución de las condiciones observadas.

20.6. En relación a la ecología del Santuario

Todo indica que la mortalidad y emigración de los Cisnes de cuello negro del área del Santuario y humedales adyacentes, estuvieron directamente relacionadas con la desaparición del Luchecillo y que las poblaciones de esta planta no se han recuperado. Resulta imprescindible entonces, realizar experimentos manipulativos de terreno tendientes a evaluar las siguientes hipótesis:

- i) no ha habido recuperación de *Egeria densa* debido a que las poblaciones de la misma están aún afectadas por las altas concentraciones de metales pesados en el medio.
- ii) no ha habido recuperación de *Egeria densa* debido a que los remanentes de las antiguas poblaciones están siendo intensamente forrajeadas por los cisnes que aún permanecen en el área.

En relación a lo mismo, es necesario implementar a la brevedad un programa de monitoreo, tendiente a evaluar la eventual recuperación del Luchecillo y/o su eventual reemplazo por otras plantas acuáticas. Al mismo tiempo, es necesario mantener en el tiempo los actuales monitoreos que realiza CONAF sobre la avifauna del Santuario, a fin de evaluar eventuales cambios en la estructura comunitaria de la misma, como respuesta a los cambios que puedan estar sucediendo en el mosaico vegetacional del Santuario.

Es necesario implementar protocolos de monitoreo de la fauna bentónica, tanto de fondos sedimentarios como ritrales, a fin de contar con datos de mediano y largo plazo, que puedan dar cuenta de la evolución del ecosistema estuarial del río Cruces.

20.7. En relación a la revisión de informes ambientales

Los organismos pertinentes del Estado con competencia en la revisión de los informes, de por ejemplo, monitoreos ambientales de las actividades industriales en la zona, específicamente el caso de los monitoreos de CELCO, deberán hacerse asesorar por personal capacitado que pueda entender a cabalidad el contenido y alcance de los datos de esos informes y manejar sistemáticamente modelos de simulación para los resultados de cargas residuales del efluente de CELCO u otra actividad que produzca impacto ambiental en la cuenca del río Cruces. El objetivo es poder determinar rápidamente la incidencia de esas cargas en la calidad del agua del Santuario, con el

objetivo de implementar en lo posible, medidas preventivas, además de favorecer la toma de decisión informada, adecuada y oportuna. Situaciones detectadas en este estudio referentes a errores de transcripción de resultados, manejo matemático y conceptual de datos, errores de resultados de laboratorio, entre otros, avalan esta recomendación. Es importante destacar aquí, que el equipo de investigadores de la UACH, está convencido de que haber contado en su tiempo con opiniones calificadas, se podrían haber detectado situaciones anómalas en las descargas de CELCO y por lo tanto se podrían haber modificado los monitoreos ambientales, lo que habría servido para evaluar efectivamente la incidencia de los aportes de químicos de la Planta al ecosistema del Santuario.

21. Participantes en las actividades a las que se hace referencia en este Informe

- **Instituto de Zoología (Facultad de Ciencias)**

Dr. Eduardo Jaramillo, Ecólogo Acuático, Coordinador General y Editor del Estudio

Dr. Roberto Schlatter, Ornólogo

Dr. Carlos Jara, Limnólogo

Dr. Stefan Woelfl, Limnólogo

Dr. Germán Pequeño, Ictiólogo

Cand. Dr. Heraldo Contreras, Biólogo Marino

Cand. Dr. Cristian Duarte, Biólogo Marino

Luis Figueroa, Ecólogo Marino

- **Instituto de Botánica (Facultad de Ciencias)**

Dr. Carlos Ramírez, Botánico

Dr. Jorge Jaramillo, Fitoplantólogo

Dr. Alejandra Zúñiga, Botánico

- **Instituto de Química (Facultad de Ciencias)**

Dr. Eduardo Quiroz, Químico.

MSc. Hernán Palma, Químico

- **Instituto de Geociencias (Facultad de Ciencias)**

Dr. Sandor Mulsow, Geoquímico

Dr. Mario Pino, Geólogo

- **Instituto de Física (Facultad de Ciencias)**

M.Sc. Charlotte Lovengreen, Físico

- **Instituto de Ecología y Evolución (Facultad de Ciencias)**

Dr. Roberto Néspolo, Ecólogo

- **Instituto de Histología (Facultad de Medicina)**

Dr. Bruno Peruzzo, Histólogo

Ricardo Silva, Ing. Electrónico

- **Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Santo Tomás (Santiago)**

Dr. Nelson Lagos, Ecólogo

22. Agradecimientos

Al término de este Estudio, el equipo de investigadores de la Universidad Austral de Chile, expresa su gratitud a todos aquellos que apoyaron la gestión, el desarrollo y término del mismo.

Especial mención a los Guardafauna de CONAF, Roberto Rosas y Luis Miranda y a los oficiales y clases de la Gobernación Marítima de Valdivia, por su entusiasta y leal apoyo en las múltiples salidas a terreno y recolección de muestras.

A miembros de los Servicios Públicos, como la CONAMA, CONAF, SAG, DGA y Servicio Salud Valdivia, por la pronta respuesta a muchas de las inquietudes y solicitudes del equipo, referente a los diferentes Subproyectos del Estudio. Especial mención por la comprensión y apoyo en la obtención de muestras biológicas, a los representantes de la Contraparte Técnica de este estudio, Miguel Stutzin (SAG) y José Luis Galaz (CONAF).

A Juan Pedro Andueza, agricultor de San José de la Mariquina, quién confió en los investigadores de este Equipo, permitiendo el libre acceso por su campo a fin de acceder con facilidad y prontitud a las riberas del río Cruces.

Finalmente y no menos importante, reconocimiento especial a aquellos que desde su anonimato, creyeron y creen en la rigurosidad del método científico como herramienta para validar objetivamente explicaciones a los patrones observados, ya sean aparentes o reales. Y a todos aquellos investigadores y estudiantes de la UACH, que en algún momento ayudaron con sus experiencias e inquietudes, apoyando de uno u otro modo el desarrollo de este Estudio.