



CASEB -- Centro de Estudios Avanzados
en Ecología & Biodiversidad
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 114-D Santiago Chile
Fax (2) 686 2621 Fono (2) 686 2620

Centro de Estudios Avanzados en Ecología y Biodiversidad (CASEB) de la Pontificia Universidad Católica de Chile

25 abril 2005

Comentarios sobre el Informe Final de la Universidad Austral de Chile para la Dirección Regional de CONAMA X Región de Los Lagos, “Estudio sobre origen de mortalidades y disminución poblacional de aves acuáticas en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, en la provincia de Valdivia”

TABLA DE CONTENIDOS

1. RESUMEN EJECUTIVO	3
2. ANTECEDENTES SOBRE EL PAPEL DE CASEB.....	4
3. ORGANIZACIÓN DEL INFORME FINAL UACH.....	4
4. ANÁLISIS GENERAL DE LOS CAPÍTULOS CENTRALES DEL INFORME FINAL UACH	5
Capítulo 4: Metales pesados	5
Capítulo 5: Actividades productivas	5
Capítulo 6: Calidad del agua	6
Capítulo 7: Coloración de las aguas.....	6
Capítulo 8: Bioacumulación en organismos bentónicos	6
Capítulo 9: Bentos de fondos sedimentarios	7
Capítulo 10: Biogeoquímica de fondos sedimentarios	7
Capítulo 11: Geocronología de metales pesados en fondos sedimentarios.....	7
Capítulo 12: Perfiles de metales pesados en fondos sedimentarios.....	7
Capítulo 13: Bentos de fondos ritrales	7
Capítulo 14: Ictiofauna.....	7
Capítulo 15: Avifauna	8
Capítulo 16: Historia natural del Cisne de cuello negro	8
Capítulo 17: Estado actual de la salud ambiental del Santuario.....	8
5. ANÁLISIS DETALLADO DE LOS CAPÍTULOS FINALES DEL INFORME FINAL UACH	8
Capítulo 18: Hipótesis puestas a prueba en el Informe Final UACH a CONAMA	8
Capítulo 19: Conclusiones del Informe Final UACH a CONAMA	10
Capítulo 20: Recomendaciones del Informe Final UACH a CONAMA.....	17
6. CONCLUSIONES CASEB SOBRE EL INFORME FINAL UACH	21
7. EQUIPO CASEB/PUC.....	22
8. APÉNDICE: ANÁLISIS DETALLADO DE LOS CAPÍTULOS 4 AL 17 DEL INFORME FINAL UACH.....	23
Capítulo 4: Metales pesados	23
Capítulo 5: Actividades productivas en la cuenca del río cruces	24
Capítulo 6: Calidad del agua del río Cruces.....	25
Capítulo 7: Coloración de las aguas del río Cruces y humedales adyacentes	31
Capítulo 8: Bioacumulación de metales pesados en organismos bentónicos.....	32
Capítulo 9: Bentos de fondos sedimentarios	32
Capítulo 10: Comportamiento biogeoquímico de fondos sedimentarios.....	32
Capítulo 11: Registro histórico de las concentraciones de metales pesados (Geocronología) .	33
Capítulo 12: Perfiles de metales pesados en sedimentos del Santuario.....	33
Capítulo 13: Bentos de fondos ritrales	33
Capítulo 14: Ictiofauna.....	33
Capítulo 15: Avifauna.....	33
Capítulo 16: Historia natural del cisne de cuello negro <i>Cygnus melancoryphus</i>	34
Capítulo 17: Estado actual de la salud ambiental del Santuario.....	34

1. RESUMEN EJECUTIVO

A contar de noviembre 2004, el Centro de Estudios Avanzados en Ecología y Biodiversidad (CASEB) de la Pontificia Universidad Católica de Chile ha actuado como ejecutor del "Estudio integral del cisne de cuello negro en el humedal del río Cruces: contexto ecológico y de biodiversidad", encargado por Celulosa Arauco y Constitución S. A. (ARAUCO).

Entre las actividades del estudio encargado por ARAUCO se establece que "Se recopilará y obtendrá el máximo posible de antecedentes, y se revisarán hipótesis alternativas que tiendan a explicar las fluctuaciones observadas en las poblaciones de cisnes, con el fin de construir un soporte científico que permita emitir opiniones fundamentadas respecto a informes de terceros".

En este contexto, CASEB ha analizado el Informe Final de la Universidad Austral de Chile (UACH) encargado por la Dirección Regional de CONAMA X Región, titulado "Estudio sobre origen de mortalidades y disminución poblacional de aves acuáticas en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, en la provincia de Valdivia".

CASEB concluye que el estudio de la UACH es un trabajo comprensivo dentro de los breves límites de tiempo y escasos recursos económicos que se le otorgaron para realizarlo. El nivel de análisis es el esperable para un grupo de científicos que usan el método científico con rigurosidad, intentando interpretar los patrones observados de la manera más parsimoniosa posible, y proveyendo explicaciones mecanicistas a los procesos que aparecen involucrados. En la línea correcta de la argumentación científica, UACH consigna explícitamente qué hipótesis fueron rechazadas o aceptadas en relación a su análisis de los datos disponibles.

CASEB hace notar que de acuerdo al método hipotético-deductivo que caracteriza el quehacer científico, el rechazo de una hipótesis tiene más fuerza que su aceptación. Esto es porque, aún cuando una cierta hipótesis sea aceptada, no elimina la validez de otras hipótesis alternativas aún no puestas a prueba y que den cuenta del mismo fenómeno sin invocar factores más complejos (el llamado criterio de parsimonia).

Al respecto, CASEB considera que una parte importante de las conclusiones del Informe Final UACH corresponden a hipótesis de trabajo razonables que merecen ser puestas a prueba con datos aún por obtener, más que a conclusiones definitivas. CASEB recomienda que dichas conclusiones (hipótesis de trabajo) sean confrontadas con hipótesis alternativas explícitas, para entender cabalmente el funcionamiento del ecosistema representado en el Santuario de la Naturaleza.

Aparte de lo anterior, CASEB tiene diversos reparos sobre los diseños de muestreo, diseños experimentales, análisis estadísticos e interpretación de resultados, que lo llevan necesariamente a considerar que varias conclusiones del Informe Final UACH no están suficientemente sustentadas en datos o análisis. Según la evaluación de CASEB, de las 37 conclusiones del estudio UACH, hay 9 conclusiones acertadas, 13 no acertadas y 15 dudosas (no hay base empírica para decidir si son acertadas o no).

CASEB concuerda con la UACH en que la mortalidad y emigración de los cisnes se debió a la desaparición de su recurso alimentario, el lucheillo *Egeria densa*. Pero le parece científicamente cuestionable, con la información actualmente disponible, la conclusión de la UACH que elementos o compuestos que ella atribuye a la operación de la planta de ARAUCO serían la causa principal, directa e inequívoca de la desaparición de dicho recurso.

2. ANTECEDENTES SOBRE EL PAPEL DE CASEB

El Centro de Estudios Avanzados en Ecología y Biodiversidad (CASEB) es un centro de excelencia en investigación dedicado a generar y transferir conocimiento ecológico para comprender la biodiversidad desde una perspectiva funcional y ecosistémica, así como su conservación, con miras al desarrollo sustentable de Chile. Por otra parte, Celulosa Arauco (ARAUCO) tiene como uno de sus objetivos prioritarios, e integrado en su quehacer productivo, la protección del medio ambiente y el resguardo de la diversidad biológica de las áreas geográficas bajo las influencias de sus operaciones industriales.

Debido al notorio decrecimiento poblacional observado a fines de 2004 en los cisnes de cuello negro del Santuario de la Naturaleza Anwandter en el Río Cruces (uno de los sitios Ramsar en Chile), ARAUCO encargó a CASEB la realización del "Estudio integral del cisne de cuello negro en el humedal del Río Cruces: contexto ecológico y de biodiversidad". Este estudio es complementario al estudio encargado por el Gobierno de Chile a través de CONAMA X Región a la Universidad Austral de Chile (UACH).

Entre las actividades del estudio encargado a CASEB se establece que "Se recopilará y obtendrá el máximo posible de antecedentes, y se revisarán hipótesis alternativas que tiendan a explicar las fluctuaciones observadas en las poblaciones de cisnes, con el fin de construir un soporte científico que permita emitir opiniones fundamentadas respecto a informes de terceros".

A contar de noviembre de 2004 comenzaron las labores de asesoría científica de CASEB a ARAUCO, contabilizándose hasta la fecha la entrega de 13 productos escritos por parte del primero a la segunda. Entre estos productos se encuentran los análisis del Primer y Segundo Informes de Avance de la UACH a la CONAMA X Región.

El 18 abril 2005 ARAUCO convocó al equipo CASEB para entregar copia del Informe Final de UACH a CONAMA, con la solicitud de entregar una revisión del mismo para el 25 abril 2005. Aquí se cumple dicha petición.

3. ORGANIZACIÓN DEL INFORME FINAL UACH

El Informe Final UACH se puede dividir en siete secciones:

Capítulos 1, 2 y 3, referidos a la descripción del documento.

Capítulos 4, 5, 6 y 7, referidos a las cargas de elementos químicos en la columna de agua del humedal.

Capítulos 8, 9, 10, 11 y 12, referidos a las cargas de elementos químicos en los sedimentos del humedal.

Capítulos 13, 14, 15 y 16, referidos a los elementos faunísticos presentes en el humedal.

Capítulos 17, 18, 19 y 20, referidos a la interpretación, descarte de hipótesis y recomendaciones para futuros trabajos en relación al humedal.

Capítulos 21 y 22, referidos al cierre del documento, sin aporte de datos.

Anexos I al IX, con información detallada que se usa para sustentar las conclusiones del Informe Final.

La evaluación global de este Informe por parte de CASEB es que se trata de un trabajo comprehensivo dentro de los breves límites de tiempo que se le otorgó a la UACH. El nivel de análisis es el esperable para un grupo de científicos que usan el método científico con rigurosidad, intentando interpretar los patrones observados de la manera más parsimoniosa posible, y proveyendo explicaciones mecanicistas a los procesos que aparecen involucrados.

Con todo, es evidente que las explicaciones son las que pueden formularse sobre la base de los pocos datos disponibles y con la urgencia demandada. Es así como el Informe termina con un capítulo de Recomendaciones para trabajos futuros, que permitirán evaluar con más propiedad las hipótesis explicativas que se enunciaron.

Independientemente de lo anterior, CASEB tiene algunos reparos sobre los diseños de muestreo, análisis estadísticos e interpretación de resultados, que lo llevó necesariamente a definir hipótesis alternativas cuya puesta a prueba depende de la obtención de nuevos datos, usando un diseño experimental más planificado y mejor replicado.

A continuación se hace una evaluación general, capítulo a capítulo, del Informe Final UACH, señalando algunos aspectos deficitarios y superables, así como los aspectos destacables en la comprensión del fenómeno complejo que plantea el tema del estudio. En el apéndice que sigue se da una explicación detallada de las razones por las cuales se consideran deficitarios algunos análisis y conclusiones. No nos manifestamos en detalle sobre los aspectos destacables, porque se entiende que el trabajo científico bien realizado no requiere más reconocimiento que la aprobación de los pares.

4. ANÁLISIS GENERAL DE LOS CAPÍTULOS CENTRALES DEL INFORME FINAL UACH

Capítulo 4: Metales pesados

Aspectos deficitarios: Los análisis estadísticos usados no son lo adecuados. No consideran la heterocedasticidad de varianzas ni la falta de normalidad de los datos, ni el hecho que el muestreo está desbalanceado.

Aspectos destacables: La información entregada es útil para entender el funcionamiento hidrológico del humedal. Uno de los puntos más logrados tiene relación con las variaciones de marea, especialmente con el análisis de la denominada “mancha de lodo” que subió por el río Calle-Calle.

Capítulo 5: Actividades productivas

Aspectos deficitarios: (a) Aún cuando los biocidas tengan una vida media de pocos días en la columna de agua del humedal, es probable que permanezcan más tiempo en el sedimento. No se menciona el posible efecto que podrían tener dichos compuestos atrapados en el sedimento sobre las plantas acuáticas. (b) Se realiza una comparación entre las entregas de EDAS (Estaciones de Tratamiento de Aguas Servidas) basadas en valores de una sola fecha de muestreo para cada

planta y de ARAUCO basado en el promedio de 9 fechas de muestreo. ¿Qué pasaría si se realiza el mismo análisis tomando aleatoriamente una sola de las fechas de muestreo de ARAUCO? ¿Hasta que punto se mantendría lo presentado en la Tablas 13 y 14 si se consideraran 10 fechas de muestreo para los riles de las EDAS?

Aspectos destacables: La propuesta que se realice un estudio más acabado para poder evaluar y caracterizar el efecto de pesticidas sobre los organismos del humedal.

Capítulo 6: Calidad del agua

Aspectos deficitarios: Los análisis estadísticos usados no son lo adecuados. No consideran la heterocedasticidad de varianzas ni la falta de normalidad de los datos, ni el hecho que el muestreo está desbalanceado. También hay problemas de baja replicabilidad. La variabilidad espacio-temporal de los datos y la ausencia de un buen diseño de muestreo y análisis no permiten concluir que las diferencias detectadas sean significativas. En consecuencia, la interpretación de resultados no es plenamente confiable.

Aspectos destacables: Este capítulo está bien presentado y contrasta con los dos anteriores en los que prácticamente no se especifican las metodologías utilizadas para los análisis. En la sección se detallan una serie de metodologías estándar que fueron apropiadamente aplicadas a los análisis de la calidad del agua.

Capítulo 7: Coloración de las aguas

Aspectos deficitarios: El punto (iii) de las conclusiones carece de fundamento si se considera que en general, dados sus altos niveles de productividad, los humedales presentan grandes acumulaciones de materia orgánica vegetal en descomposición. Por ejemplo, en el río Cruces toda el área cercana a la zona de totora presenta un horizonte anóxico y reductor bastante importante. De ser correcta la secuencia lógica planteada, el fenómeno de agua marrón debiera ser uno más de los componentes variables de los humedales (y no lo es).

Aspectos destacables: El incremento del fitoplancton y especialmente del grupo de las diatomeas está relacionado con las variaciones detectadas en los nutrientes y con el posible efecto que pueden tener estos organismos sobre la dinámica de penetración de la luz en el humedal.

Capítulo 8: Bioacumulación en organismos bentónicos

Aspectos deficitarios: En este capítulo aparece un elemento, el manganeso, que fue olvidado en la sección de análisis de calidad de agua.

Aspectos destacables: Las conclusiones son correctas.

Capítulo 9: Bentos de fondos sedimentarios

Aspectos deficitarios: La elección de sitios para esta parte del estudio está disociada de la considerada para evaluar la calidad del agua (mayoritariamente bajo la estación 3).

Aspectos destacables: A diferencia de los capítulos anteriores, aquí se utiliza el análisis multidimensional de manera más acertada. Los análisis y conclusiones son adecuados.

Capítulo 10: Biogeoquímica de fondos sedimentarios

Aspectos deficitarios: Se menciona que las características biogeoquímicas de los sedimentos corresponden a las de lugares con baja incidencia de materia orgánica en descomposición. Esta conclusión no respalda la idea planteada en el punto (iii) de las conclusiones del capítulo 7.

Aspectos destacables: Los análisis y resultados de esta sección son concisos y adecuados.

Capítulo 11: Geocronología de metales pesados en fondos sedimentarios

Aspectos deficitarios: Cabe preguntarse si, conociéndose que las estaciones más lejanas al cabezal de humedal presentan una mayor perturbación marina, se realizaron ajustes a las tasas de acreción y sedimentación de las distintas áreas estudiadas.

Aspectos destacables: El análisis de los sedimentos aporta información sobre la alta concentración de aluminio en el sistema.

Capítulo 12: Perfiles de metales pesados en fondos sedimentarios

Aspectos deficitarios: La extensión del análisis en términos espaciales es muy restringida. Habría sido interesante incluir análisis de los sedimentos de los tributarios y de los sedimentos de la zona de la Planta, o al menos de la zona en la cual se realizó el análisis de la calidad del agua.

Aspectos destacables: Aporta información histórica y espacial muy importante para el informe.

Capítulo 13: Bentos de fondos ritrales

Aspectos deficitarios: Se utilizan técnicas estadísticas de manera inadecuada, por no atender a la heterogeneidad de varianzas y a la falta de normalidad de los datos.

Aspectos destacables: La variabilidad espacial de los parámetros que se midieron sugiere que la calidad del ambiente acuático se ha deteriorado no solo en relación al efluente de ARAUCO, sino que al parecer debido a otros factores.

Capítulo 14: Ictiofauna

Aspectos deficitarios: Ninguno.

Aspectos destacables: Se realiza una descripción detallada en términos naturalistas sobre las especies componentes de la ictiofauna del humedal. Luego se realiza un análisis histórico de los cambios observados en este grupo con una buena discusión, explicando las posibles causas para la variabilidad observada.

Capítulo 15: Avifauna

Aspectos deficitarios: Ninguno.

Aspectos destacables: Esta es una de las secciones mejor logradas del Informe. En este capítulo se utilizan adecuadamente herramientas estadísticas, de análisis de series de tiempo y de escalamiento multidimensional para describir en forma acertada las dinámicas y variaciones del ensamble avifaunístico y de algunas poblaciones particulares de la avifauna del humedal.

Capítulo 16: Historia natural del Cisne de cuello negro

Aspectos deficitarios: Ninguno.

Aspectos destacables: Entrega una perspectiva amplia, desde la misma biología de la especie, que permite poner en contexto geográfico y temporal a la población de cisnes de cuello negro del humedal.

Capítulo 17: Estado actual de la salud ambiental del Santuario

Aspectos deficitarios: Aquellos ya detallados arriba y que se recogen en este capítulo.

Aspectos destacables: Ninguno. Se recopilan las conclusiones de cada uno de los capítulos anteriores.

5. ANÁLISIS DETALLADO DE LOS CAPÍTULOOS FINALES DEL INFORME FINAL UACH

Capítulo 18: Hipótesis puestas a prueba en el Informe Final UACH a CONAMA

Este capítulo requiere un comentario introductorio. En el Informe Final se consigna que las hipótesis fueron ya sea rechazadas o aceptadas. De acuerdo al método hipotético-deductivo que caracteriza a la ciencia, el rechazo de una hipótesis tiene mucha más fuerza que su aceptación. Esto es porque, aún cuando una cierta hipótesis sea aceptada, no elimina la validez de otras hipótesis alternativas aún no puestas a prueba y que den cuenta del mismo fenómeno sin invocar factores más complejos (el llamado criterio de parsimonia). Esta asimetría en la aceptación o rechazo de hipótesis debe ser tenida en cuenta, porque la aceptación no invalida la proposición de hipótesis alternativas igualmente parsimoniosas.

Problema 1: Mortalidad y emigración de cisnes de cuello negro

El manejo de las tres hipótesis asociadas a esta sección se apoya en los resultados del presente Informe Final y de los dos anteriores. Dos hipótesis son correctamente rechazadas y las conclusiones son acertadas. La tercera hipótesis es aceptada, y nosotros estamos de acuerdo, aunque podrían existir otras explicaciones.

Problema 2: Disminución y desaparición del luchecillo

Se ponen a prueba cuatro hipótesis, de las cuales se rechazan tres y se acepta una. Se recurre a resultados en los anexos del Informe Final, a información no publicada y a los resultados del Segundo Informe UACH. En relación a los resultados del Segundo Informe, éstos fueron ya cuestionados en su debida oportunidad por CASEB debido a que: (i) las plantas analizadas no habían sido sonicadas y por lo tanto los niveles de metales reportados no eran indicativos de su incorporación al interior de la planta y (ii) que los experimentos realizados para demostrar toxicidad carecían de robustez y presentaban resultados contradictorios. En relación a la nueva información aportada en el Informe Final, los resultados sobre fotosíntesis también son contradictorios, especialmente si se considera que las plantas mantenidas en aguas directamente afectadas por el efluente de ARAUCO presentan mayor actividad fotosintética. Por lo anterior, se considera que las conclusiones de esta parte no parecen bien respaldadas.

Problema 3: Calidad del agua y sedimentos

Se somete a prueba una hipótesis, la cual es aceptada. Las conclusiones se basan principalmente en los resultados del Informe Final. Considerando los problemas con los análisis estadísticos utilizados (o la ausencia de ellos en algunas secciones), la falta de replicación en el diseño de muestreo, y el análisis algo sesgado de la incipiente información relacionada con el análisis de las variaciones espaciales (entre estaciones) y temporales de las variables de calidad de agua ya comentados, las conclusiones de esta parte no parecen bien respaldadas.

Problema 4: Origen de los cambios en la calidad del agua

Se ponen a prueba cuatro hipótesis, de las cuales se rechazan tres y se acepta una. El análisis de este problema se fundamenta en información entregada en el cuerpo principal y anexos del Informe Final.

De las tres hipótesis planteadas, para la segunda no se realizó un análisis detallado ni se consideraron explicaciones alternativas que pudieran dar sustento a esta hipótesis. Por ejemplo la misma idea que los metales pesados intoxicaron al luchecillo y que éste al depositarse en el fondo del humedal provocó los cambios en la calidad del agua, podría ser mantenida proponiendo a los herbicidas como los agentes causantes. Desgraciadamente, no se realizaron análisis de la concentración de pesticidas y de sustancias tóxicas asociadas, ni en el sedimento ni en las plantas.

En referencia a la tercera hipótesis, ella es rechazada en base a argumentos que se sustentan en una estación de muestreo sobre la cual se calcula el aporte de las plantas de tratamiento de aguas servidas. Esto hace una gran diferencia con el tratamiento que se hace de la cuarta hipótesis (discutida abajo), para la cual se ocupa como base de análisis una serie de muestreos de calidad del agua. Ante esto cabe preguntarse si hubiera sido posible rechazar tan fácilmente la tercera

hipótesis si se hubiera contado con un mayor número de muestras o con un diseño espacial mínimo (como el considerado para la cuarta hipótesis).

Finalmente, la cuarta hipótesis es aceptada tomando como referencia conclusiones basadas en datos cualitativos. Dados los problemas ya expuestos de metodología, análisis e interpretación de los resultados de la sección de calidad del agua, no pareciera haber suficiente base para aceptar esta hipótesis.

Problema 5: Registro de aportes nuevos de químicos al sistema hídrico

Se somete a prueba una hipótesis, la cual es aceptada. Este problema es abordado de manera adecuada y las conclusiones son correctas según nuestra opinión.

Problema 6: Relación entre cambios en la calidad de agua y procesos de depositación de químicos en el sedimento

Se pone a prueba una hipótesis, la que es aceptada. Para sustentar el argumento que se esgrime aquí, no es necesario realizar ningún tipo de estudio. Basta especular sobre el inicio de la declinación de la población de cisnes y el inicio de la construcción y puesta en marcha de la planta. De hecho, esta hipótesis está mal planteada, porque debiera invocar “no-efecto” y de ser rechazada, recién entonces cabría sospechar un efecto de ARAUCO y de muchas otras fuentes.

Problema 7: Estado de salud ambiental del Santuario

Se somete a prueba una hipótesis, la cual es rechazada. Completamente adecuado, pone de manifiesto la dimensión del problema ambiental del humedal, con distintas especies reaccionando de distinta manera.

Capítulo 19: Conclusiones del Informe Final UACH a CONAMA

En este capítulo, a la luz de los resultados del estudio de la UACH, se propone un escenario para explicar la mortalidad y migración de cisnes de cuello negro y la disminución y desaparición del luecillo, en el área del Santuario y cauces tributarios del río Cruces.

Este capítulo –al igual que el anterior– requiere un comentario introductorio. Dado que las conclusiones son tan fuertes como los datos e interpretaciones en que se basan y dado que la mayor parte de los lectores usualmente se concentran en las conclusiones y no en los datos, hemos dado tratamiento relativamente extenso a todo este capítulo. A continuación se comenta cada una de las conclusiones presentadas y se la califica como *acertada*, *no acertada* o *dudosa* (no hay base empírica para decidir si es acertada o no):

Conclusión 1: Los antecedentes presentados en el Informe Final, así como los antecedentes presentados en los informes anteriores, avalan esta conclusión. La conclusión se considera *acertada*.

Conclusión 2: Efectivamente una de las consecuencias derivadas del estado de desnutrición en los organismos es la depresión inmunológica. La conclusión se considera *acertada*.

Conclusión 3: La hemocromatosis posiblemente está ligada a la ingesta de plantas con altos contenidos de hierro. Desde la perspectiva de las aves esta conclusión se considera *acertada*.

Conclusión 4: Los estudios serológicos fueron una herramienta útil en el Segundo Informe para descartar la idea de que las aves murieron por causas de enfermedades infecto-contagiosas. La conclusión se considera *acertada*.

Conclusión 5: Esta conclusión no está bien sustentada. El término “especie lábil” corresponde a una caracterización cualitativa y por ende relativa. Se debe considerar que el luchecillo es una especie exótica invasora lo cual estaría en franca oposición a la categorización de especie “lábil”. Si lo que se quiere explicar es que la población completa del luchecillo sufrió un descenso considerable y que por ende fue afectada en forma masiva en el humedal, no es necesario recurrir a la categorización de “especie lábil”. La conclusión se considera *no acertada*.

Conclusión 6: Efectivamente, el efecto más importante de la desaparición del luchecillo fue la migración de las aves mencionadas. Esta conclusión se considera *acertada*.

Conclusión 7: Efectivamente, de haber sido los cambios en la radiación ultravioleta la causa de la mortandad de luchecillo, poblaciones de áreas aledañas de esta especie así como otras especies de plantas e incluso animales del humedal mostrarían efectos. Esta conclusión se considera *acertada*.

Conclusión 8: Tal como se establece en la primera línea de esta conclusión, los datos entregados en el Informe Final no permiten concluir de forma categórica el rol de los pesticidas en el Santuario. Llama la atención la gran cantidad de sustancias agro-químicas que se reconoce son vertidas o utilizadas en la cuenca del río Cruces. Asimismo en el informe se establece que muchas de estas sustancias tienen una vida bastante corta en el sistema natural. Sin embargo son tremendamente efectivas en su acción toxicológica. Por estas razones, el que no se haya encontrado remanente de una sustancia de vida muy corta no permite descartar el posible efecto de estas sustancias. Más aún el argumento de que la lluvia no aumentó y que por ende la lixiviación de los agroquímicos del suelo no puede haber aumentado, no es acertado dado que la lixiviación depende efectivamente del volumen de lluvia, pero también depende de la calidad de los suelos. El análisis de los cambios en el uso del suelo a lo largo de la cuenca en el último tiempo es uno de los grandes ausentes en el informe. La conclusión se considera *no acertada*.

Conclusión 9: Tal como se expresó en los comentarios al Segundo Informe UACH, el que las plantas de luchecillo no fueran previamente sonicadas impide determinar con certeza si los niveles de metales detectados en ellas corresponden a metal que efectivamente ha sido incorporado a sus tejidos (versus sólo depositado y no biodisponible, en su superficie). Menos aún es válido establecer la relación causa-efecto entre acumulación y efecto tóxico. De hecho, las contradicciones que se muestran entre los experimentos de trasplante y los de laboratorio en el informe anterior de la UACH, más aquellos entregados en este Informe Final (experimentos de fotosíntesis), no dan sustento a la idea expresada en esta conclusión. La conclusión parece lógica, pero hasta el momento no existen antecedentes adecuados que le den robustez; en consecuencia, se considera *no acertada*.

Conclusión 10: Esta conclusión se emite sustentada sobre bases especulativas. Primero, no ha quedado demostrado cuál es el nivel real de hierro intracelular. Segundo, la generación de radicales libres resulta de múltiples factores bióticos y abióticos, por lo que es incorrecto definirlos *a priori* como una respuesta a metales en general y menos a hierro en particular. De hecho, estos radicales forman parte normal del metabolismo celular, y por ello *todos* los seres vivos poseen vías metabólicas antioxidantes, constituidas por enzimas y compuestos antioxidantes. Tercero, no se proporciona ninguna información medida en *Egeria* del Santuario sobre ocurrencia de niveles tóxicos de radicales libres hierro-dependiente, o sobre estado operacional de su metabolismo antioxidante, incluyendo niveles de fenoles (considerados compuestos antioxidantes los que, de hecho, son consumidos durante condiciones de estrés oxidativo). Cuarto, no hay ningún parámetro medido en *Egeria* del Santuario que demuestre la relación entre un aumento de hierro, el establecimiento de estrés oxidativo y daño en lípidos o proteínas (i.e. proteínas oxidadas o lipoperóxidos). Por ello esta conclusión es insostenible y debiera ser manejada como una serie de hipótesis a ser puestas a prueba. En consecuencia, esta conclusión se considera *no acertada*.

Conclusión 11: Esta es una especulación y no una conclusión. No hay cuantificación de las “enormes cantidades de luchecillo depositadas en el fondo del Santuario”. Cabe destacar que en el fondo del Santuario el río puede lavar cualquier depositación de materia vegetal. El luchecillo muerto, como toda planta ribereña tiende a flotar. Más aún, la condición de acumulación de materia orgánica en descomposición es un fenómeno recurrente en la zona ribereña de los humedales. De hecho, en el caso del río Cruces, en la zona de totora es donde se depositan altas cantidades de materia orgánica en descomposición y no necesariamente hay una solubilización del hierro. Finalmente, se debe tener en cuenta que aún existiendo una eventual disolución del hierro desde el fondo a la columna de agua por una condición de pH ácido local (bajo 6, lo que nunca fue efectivamente medido), es altamente improbable que éste se mantuviera biodisponible en la columna de agua por la naturaleza neutra del su pH, condiciones que hacen que el metal se oxide y precipite como óxido de hierro. Más aún, dado que no se sabe, y no se estudió, la capacidad complejante de la columna de agua, poco es lo que se puede concluir sobre la real biodisponibilidad del hierro o cualquiera de los metales reportados. Esta es una deficiencia demasiado importante y que afecta a todas las conclusiones que pretenden conectar los niveles de metales en el agua y/o sedimentos con eventuales efectos tóxicos. Esta conclusión se considera *no acertada*.

Conclusión 12: Debido a que la Conclusión 11 no es acertada, esta conclusión tampoco lo es. En el análisis de las aguas de color marrón se mencionan muchos compuestos pero no se identifica cual es el responsable directo del color marrón de las aguas. Además se menciona que el color marrón también está presente en otros humedales de la zona, pero por motivos distintos a los del Santuario. Toda esta línea de especulación no tiene fundamento en datos cuantitativos que demuestren el origen del color marrón de las aguas. Reiterando, esta conclusión se considera *no acertada*.

Conclusión 13: Esta conclusión se deriva de las 11 y 12 y se continúa en una cadena lógica de conclusiones sin sustento científico. Pero además, la línea argumental aquí contradice los puntos presentados en las conclusiones anteriores: (a) en la conclusión 11 se menciona que el hierro se liberó porque el luchecillo se murió y depositó en el fondo, y en la conclusión 13 se menciona que el oxígeno resultante de los procesos de fotosíntesis del luchecillo favoreció la precipitación del hierro que cayó sobre el luchecillo y lo mató. Ante esto cabe preguntarse, ¿no estaba muerto el luchecillo ya en la conclusión 11? El solo hecho que se aceptara el argumento de que el hierro pudiera llegar en forma de precipitado (óxido de hierro) a la superficie de la planta tiene dos repercusiones en ésta y otras conclusiones: (i) este hierro no está disponible (es superficial y en estado químico inaccesible a las plantas), por lo que se debió sustraer analíticamente de las determinaciones del metal en *Egeria* (sección sobre bioacumulación) y (ii) no ha sido demostrada la causalidad de la llamada “cubierta coloide-plancton” en una caída en la cantidad de luz disponible a *Egeria* a niveles que afecten su funcionamiento. Reiterando, esta conclusión se considera *no acertada*.

Conclusión 14: El argumento de que la muerte del luchecillo produjo un aumento en la disponibilidad de nutrientes, el cual derivó en el aumento del fitoplancton, nuevamente es un argumento especulativo. Si el luchecillo se muere, primero las plantas muertas se llevan a los nutrientes “secuestrados” en sus tejidos, y luego las bacterias, que producen la descomposición de las plantas muertas, aumentan incrementando la demanda de nutrientes. De manera tal que los nutrientes que no son utilizados por las plantas que se murieron pueden ser rápidamente atrapados por el loop bacteriano. Por otra parte, en el humedal hay otras especies de plantas que potencialmente pueden estar utilizando los nutrientes que dejó libre el luchecillo. Finalmente, de ser cierta esta conclusión, la explosión de fitoplancton debiera reflejarse en un aumento considerable del oxígeno disuelto en la zona superficial del humedal --fenómeno que no se aprecia en los análisis de calidad de agua. Todas estas líneas argumentales alternativas son igualmente especulativas que la conclusión planteada. En ausencia de datos que conecten los argumentos de forma robusta, es imposible sostener una conclusión válida. En consecuencia, esta conclusión se considera *no acertada*.

Conclusión 15: Esta conclusión es lógica pero no está sustentada con datos, por lo que puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 16: El por qué no se observa aún --o si en algún momento se va a observar-- la recuperación del luchecillo es un tema de investigación en sí y en este informe no hay antecedentes que respalden esta conclusión. Si bien las tres causas mencionadas efectivamente pueden estar afectando a la población remanente de luchecillo, no hay datos para saber si los cisnes y taguas que quedan en el humedal efectivamente tienen una presión de consumo fuerte sobre las plantas sobrevivientes. Tampoco es claro si las plantas sobrevivientes realmente están afectadas por la carencia de luz y si es la depositación de hierro el principal problema de las plantas. Cabe recordar que en la conclusión 9 se menciona al hierro como un agente tóxico en el sentido químico (que envenenó a las plantas) y no como un agente físico (que le tapó la luz a las plantas). Reiterando, esta conclusión se considera *no acertada*.

Conclusión 17: Este punto es débil, dado que las plantas fueron capaces de sobrevivir en el trasplante pero no en condiciones de laboratorio (además no se menciona el hecho si las plantas

transplantadas aún siguen sobreviviendo desde el inicio del experimento). Por otra parte, si las plantas transportadas no tienen la cubierta de coloide-mucílago que se observa en las sobrevivientes, no es correcto concluir que en este momento las condiciones de calidad del hábitat en el humedal son suficientes para que el luchecillo sobreviva. Tampoco existe evidencia empírica que los niveles de metales fueron efectivamente mayores que las actuales en la columna de agua. Esta conclusión puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 18: Hay que destacar que la conclusión anterior (17) se fundamentaría en una situación de altas concentraciones de metales que “estuvieron” en el humedal y que ya no están (esta conclusión se propuso en el Segundo Informe de enero 2005). En este punto se menciona que, al contrario de la conclusión 17, la situación de altas concentraciones de metales “ha persistido por meses notándose una leve atenuación del fenómeno a mediados del 2005”. Todos estos antecedentes son relativos y cabe preguntarse: ¿Cuándo se terminó la situación de altas concentraciones de metales? ¿Qué significa una “leve atenuación”? ¿Por qué si los análisis de sedimentos muestran que la situación de alta concentración de metales se ha mantenido en el tiempo, en la sección de experimentos toxicológicos se informa que ha cambiado en el tiempo? ¿No se supone que el hierro precipitó junto con el oxígeno que producía el luchecillo? Esta conclusión no parece bien sustentada, por lo que puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 19: Esta conclusión es correcta en términos de resultados, pero contradice los argumentos entregados en la conclusión anterior: Si los análisis de sedimentos muestran que la situación de alta concentración de metales se ha mantenido en el tiempo, ¿por qué en la sección de experimentos toxicológicos se informa que ha cambiado en el tiempo? También aparecen como contradictorios los argumentos que, por una parte plantean que la superficie del sedimento está enriquecida en metales (indicación de depositación reciente), y por otra indican que la falta de *Egeria* resultó en resuspensión, y como consecuencia, arrastre del sedimento (que obviamente debió ser el superficial). En otras palabras, si el sedimento se resuspendió y fue arrastrado, los perfiles sedimentológicos no reflejan la realidad. Alternativamente, si los perfiles sedimentológicos son aceptados como indicadores de un fondo estable que permita reconstituir la historia, no es posible aceptar que el sedimento se resuspendió como resultado de la caída en la abundancia de *Egeria*, y que esto contribuyó a las aguas marrón y a facilitar la incorporación de metales a la columna de agua. Esta conclusión no parece bien sustentada, por lo que puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 20: Este punto no es una conclusión sino que una aclaración de la anterior. El asegurar que los metales “bajaron” de la columna de agua al sedimento es lógico pero no hay datos que comprueben este punto. Esta conclusión no parece bien sustentada, por lo que puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 21: Efectivamente estas son algunas de las posibles fuentes de contaminantes al sistema. Hay muchas otras tales como mataderos, plantas de producción de flores y plantas lecheras y sobre todo un cambio importante en el uso y forestación de la cuenca que ha ocurrido en años recientes. Este punto es importante porque pone de manifiesto que el problema del humedal es uno de manejo de la cuenca y no un aspecto ambiental puntual. Esta conclusión se considera *acertada*.

Conclusión 22: Efectivamente el análisis puntual (en un momento y en un lugar) sugiere que la actividad de extracción de áridos no produciría mayores alteraciones. Esta es una actividad dinámica que ha estado presente fundamentalmente en los últimos años. No existen datos confiables de un monitoreo que permitan asegurar que esta actividad no ha afectado a la calidad del agua (sólo el muestreo puntual antes mencionado). Esta conclusión podría estar correcta pero no parece bien sustentada, por lo que puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 23: El análisis realizado a los RILes de las Plantas de tratamiento muestran que las descargas de las mismas no sobrepasaron en una oportunidad (único muestreo) los límites establecidos en el DS90/00. No se muestran datos de monitoreo para una actividad dinámica que permita efectivamente demostrar que en otras ocasiones las Plnatas no han sobrepasado los límites mencionados. Esta conclusión podría estar correcta pero no parece bien sustentada, por lo que puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 24: Esta observación es correcta y deja de manifiesto el problema espacial de este tipo de estudio. Si bien es cierto que el agua que llega al punto de muestreo “control” para la Planta de ARAUCO ya está afectada por las actividades mencionadas (además de la planta de tratamiento de Loncoche, no mencionada en el estudio), también es cierto que desde el punto de descarga de ARAUCO hasta el cabezal del humedal está el punto de descarga de la Planta de tratamiento de San José de Mariquina y otro afluente (río San José) que llega al río Cruces, del cual no se hace mención en el estudio. Más aún, muchas de las estaciones utilizadas en algunas secciones del estudio no consideran el posible efecto de tributarios (río Cayumapu y Naninihue y los respectivos esteros) que podrían estar afectando la parte media y baja del humedal (estos sistemas no son considerados en el informe). Concordamos con esta conclusión; se considera *acertada*.

Conclusión 25: Según el Informe Final, en la zona de la Planta ARAUCO se aportan 295 kg/día de hierro. Según nuestro conocimiento, el aporte neto de hierro de la Planta es nulo. Esta conclusión no parece tener sustento, por lo que se considera *no acertada*.

Conclusión 26: El diseño muestral, el análisis de datos y la interpretación de los resultados de este punto son discutibles, por lo que esta conclusión no parece bien sustentada, por lo que puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 27: Nuevamente, diseño de muestreo, análisis de datos e interpretación de resultados de este punto son discutibles, por lo que consideramos que esta conclusión no es robusta y se contradice con los datos disponibles del monitoreo. Más aún, si se parte del supuesto que la información que ARAUCO proporciona es correcta, hay un diferencial de 290 kg/día de hierro que no son explicables por el aporte de la empresa. Así, más que pensar en que ARAUCO es responsable de todo el aporte, se debieran buscar eventuales fuentes que aporten dichas cantidades del metal. Alternativamente, es también pensable que los estimados de carga, por las razones explicadas arriba, no sean los adecuados. Con todo, esta conclusión no parece bien sustentada, por lo que puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 28: Efectivamente, dado lo reducido del muestreo en términos de replicabilidad y extensión espacial, hay muchos puntos que continúan siendo una incógnita. Concordamos con esta conclusión; se considera *acertada*.

Conclusión 29: Según el Informe Final, la Planta ARAUCO aporta al río 40 ton/día de sulfato de aluminio. Según nuestro conocimiento, la Planta no emite este compuesto. De hecho, la Planta usa 30 ton/día de sulfato de aluminio y el correspondiente aluminio termina principalmente en los lodos que van al botadero de la Planta. Más aún, si éste es uno de los componentes que aparecen involucrados en el cambio de la calidad de agua río abajo del punto de descarga, no se entiende por qué no se realizaron intentos de evaluar los aspectos ecotoxicológicos de este componente. Esta conclusión se considera *no acertada*.

Conclusión 30: Aquí se presenta otra explicación para la supuesta precipitación del hierro desde la columna de agua (al parecer alternativa a la del oxígeno producido por el luchecillo). Se debe tener en cuenta que en los sistemas lacustres normales el hierro se encuentra primariamente precipitado como óxido de hierro debido a los pH generalmente neutros de estos cuerpos de agua. Así, explicaciones alternativas no son necesarias. Esta conclusión no parece bien sustentada, por lo que puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 31: No es claro el punto que se trata de alcanzar con esta conclusión, dado los argumentos planteados en la conclusión anterior. En consecuencia, puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 32: Esta conclusión es interesante, porque de ser cierta, la mancha marrón debiese aparecer a la altura del Fuerte San Luis de Alba. En el análisis de este aspecto se menciona que a la altura del Fuerte el agua es aún clara. Esta observación va en contra de la conclusión, que entonces se considera *no acertada*.

Conclusión 33: En este caso se ofrece otra alternativa a la precipitación de hierro por efecto del luchecillo muerto. En ausencia de datos, esta no es una conclusión sino una sugerencia. En consecuencia, puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 34: Este punto es curioso porque aquí se concluye que el hierro es liberado desde los sedimentos y por ende se entra en contradicción con lo encontrado en la sección tendiente a explicar las altas concentraciones de hierro en las plantas de luchecillo. Es importante insistir en que, además de lo anterior, se debe considerar que el hierro que eventualmente pudiera ser re-disuelto y alcanzar la columna de agua inmediatamente sería re-oxidado y precipitado hacia el fondo como óxido de hierro. También es importante insistir en que en este estado el hierro no está disponible para los organismos y es muy improbable que sea bioacumulado, sino más bien podría ser depositado en la superficie de las plantas, pero sin efectos tóxicos. Por lo anterior, esta conclusión no parece bien sustentada, por lo que puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 35: Efectivamente ha habido cambios en la calidad del agua, pero no sólo están asociados al inicio del funcionamiento de la Planta sino que a muchas otras actividades que en forma sinérgica pueden estar afectando al humedal. Esta conclusión podría ser acertada, con la salvedad que coincidencia-correlación no es lo mismo que causa-efecto, especialmente en el

contexto de la caída en la abundancia de *Egeria*. En consecuencia, puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Conclusión 36: Dado que los análisis de datos presentados en el Informe Final y en especial los análisis referentes a la calidad del agua presentan aspectos deficitarios, la conclusión de este punto no parece acertada. Por otra parte, todavía hay un largo camino que recorrer para salir del ámbito especulativo entre los cambios que se observan en la calidad del agua y las variaciones en las poblaciones de luchecillo. En el Informe Final, así como en los anteriores, se presentan dos o tres líneas argumentales que más que complementarias, parecen contradictorias. Reiterando, esta conclusión se considera *no acertada*.

Conclusión 37: Por todos los razonamientos presentados anteriormente se colige que esta conclusión no está bien sustentada y por ende puede o no ser acertada (es *dudosa*).

Capítulo 20: Recomendaciones del Informe Final UACH a CONAMA

En este capítulo se entregan recomendaciones considerando aspectos relacionados con: (a) la muerte del luchecillo y sus consecuencias sobre las poblaciones de cisne; (b) el estado actual del Santuario de la Naturaleza; (c) los efectos presentes y futuros de las actividades productivas que afectan directa o indirectamente al Santuario y a la cuenca del río Cruces; (d) los cambios naturales de mesoescala que están ocurriendo en la cuenca; (e) 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 de las aguas de la cuenca.

20.1 En relación a temas conceptuales

Concordamos en general, pero también hacemos presente lo siguiente:

En esta sección se pone de manifiesto la naturaleza estuarial del Santuario haciéndose hincapié en que la hidrología de estos sistemas es muy particular (acumulan substancias y reciben la influencia marina). Debido a ello, se recomienda realizar estudios dirigidos a dilucidar aspectos hidrodinámicos del sistema y además adecuar la legislación y normativas medioambientales chilenas para separar a los ríos de estuarios.

La recomendación es válida y concuerda en gran medida con el aporte que se entrega en el capítulo del Informe Final dirigido a consolidar los aspectos hidrológicos disponibles para el Santuario. Sin embargo, al mismo tiempo esta recomendación pone de manifiesto que en ausencia de información hidrológica es difícil entender la situación ambiental del Santuario, y más aún, es difícil determinar y comparar en forma robusta las variaciones espaciales en las concentraciones de elementos analizados en el Informe Final. Cabe destacar que a lo largo del Informe Final se usaron y compararon estaciones ubicadas en zonas de “río” mientras que en otros capítulos la tendencia fue analizar estaciones ubicadas en zonas de “estuario” del humedal.

Dentro de esta sección conceptual no se menciona otro aspecto relevante, como es la alteración de la cuenca, igualmente importante que el aspecto “río-estuario” del Santuario. Todas las actividades que se desarrollan en la cuenca del río Cruces tienen incidencia sobre la calidad de

sus aguas y por ende sobre la calidad de su biota. En el Informe Final se intenta dilucidar y comparar el aporte de actividades productivas en las cuales se vierte directamente algún tipo de producto a las aguas del río. Sin embargo, hay una serie de actividades productivas (como la agricultura, o la actividad forestal) que por cambio y alteración del uso del suelo pueden estar incidiendo en forma importante sobre la calidad de las aguas del río Cruces.

En cuanto a la recomendación de readecuar la legislación ambiental, este punto es interesante. Sin embargo, debe tomarse en consideración que las descargas de las actividades estudiadas ocurren en una zona que corresponde a un río mientras que los cambios observados en el Santuario se han evidenciado en una zona que corresponde a un estuario. Luego de la zona estuarial se entra en un sector costero y marino para el cual existen otras normas. Si bien nos parece un buen punto el considerar la naturaleza estuarina del Santuario, sería más adecuado abordar este problema desde una perspectiva de cuenca en sí, manteniendo el foco en entender las relaciones entre los distintos componentes que conforman al Santuario (río, estuario, tributarios, laderas, etc.).

20.2 En relación al comportamiento natural del Santuario

Concordamos en general, pero también hacemos presente lo siguiente:

En esta sección se menciona que la colmatación de sedimentos es un fenómeno que está ocurriendo a una escala mayor a la del río Cruces, afectando también a sus tributarios. Además se indica que esta situación es independiente de las actividades antrópicas. Este no es un punto menor, dado que relativiza muchas de las conclusiones referidas al origen de los cambios que se han producido en el Santuario. En el informe se bosquejan dos o tres líneas argumentales tendientes a explicar por qué ocurrió la depositación de sedimentos en el Santuario. Ninguna de estas explicaciones menciona que existe un fenómeno a escala mayor a la del estudio (restringido al río Cruces) y menos que este fenómeno de mayor escala sea “independiente de las actividades antrópicas”.

Lo positivo de esta sección es que plantea la posibilidad de buscar a una escala mayor la posible relación causal entre los cambios en la calidad de las aguas y las alteraciones en los componentes bióticos del Santuario.

20.3 En relación a actividades realizadas en la cuenca del estuario del río Cruces y cauces tributarios

Concordamos en general, pero también hacemos presente lo siguiente:

En esta sección se reconoce que hay muchos factores que pueden estar afectando la calidad de las aguas del Santuario y se propone el desarrollo de modelos en los cuales se incorporen los aportes directos e indirectos del sinnúmero de actividades productivas que se realizan asociadas al río Cruces y a sus afluentes.

Este punto va en contradicción con las conclusiones del Informe Final, en el cual se descarta un efecto de actividades productivas distintas a la de ARAUCO.

20.4 En relación a las actividades de la Planta Valdivia de ARAUCO

Concordamos en general, pero también hacemos presente lo siguiente:

Numeral (i). Se establece que a pesar de que se cumplan las normas de emisión, igual se pueden producir “procesos no evaluados” o “desconocidos” en el complejo ambiente del humedal. Debe hacerse notar que esta afirmación le quita sustento al sistema de normativas ambientales (relativizándolo con insospechadas consecuencias) y por otra parte no entrega una solución explícita para subsanar la debilidad detectada.

Numeral (ii). Se menciona que algunos componentes encontrados en concentraciones altas en el agua del río no son monitoreados en el RIL de ARAUCO y se propone que se monitoree en el RIL las mismas variables que son monitoreadas en el cuerpo receptor. La recomendación nos parece válida.

Numeral (iii). Se indica la importancia de conocer el origen de los altos aportes de Sulfato, el que podría estar actuando como coagulante para flocular partículas. Además se menciona que este efecto podría incrementarse en la zona estuarina del humedal, dada la baja velocidad del agua y los efectos en el flujo de la vegetación ribereña.

Resulta curioso constatar que no conociéndose la fuente de Sulfato se pueda concluir que la planta ARAUCO es la responsable de los cambios en el humedal. Cabe recordar que en la conclusión 13 del Informe Final se indica que el hierro habría precipitado con el oxígeno que produce en luchecillo, en tanto que en la conclusión 15 se menciona que la ausencia de Luchecillo habría sido la causante de la resuspensión del sedimento, mientras que en la conclusión 16 se señala que la disminución de la transparencia del agua (por resuspensión de los sedimentos) es una de las causantes de la muerte de luchecillo, y que en la conclusión 17 se menciona que el luchecillo transplantado puede vivir en el humedal porque las condiciones de alta concentración de hierro ya no están en el humedal. ¿Cómo se integra el Sulfato a la cadena de argumentos anteriores? Nos da la impresión que la relación causal entre cambios en la calidad del agua y efectos bióticos no está clara en el Informe Final.

Numeral (iv). Se menciona una serie de aspectos que debieran ser incluidos en la fiscalización que realiza CONAMA a los insumos y productos de la planta ARAUCO. La recomendación es interesante, porque establece que las medidas de monitoreo y fiscalización anteriormente aprobadas por la CONAMA son insuficientes y porque a pesar de reconocer en el numeral 20.3 que ARAUCO es solo uno más de los potenciales contaminadores del Santuario, se concentra exclusivamente en la Planta sin hacer comentario sobre la fiscalización del resto de las actividades productivas con efectos sobre la cuenca.

20.5 En relación a geocronología y acumulación de metales pesados en el sedimento

Concordamos en general, pero también hacemos presente lo siguiente:

En esta sección se menciona que la geocronología ha permitido reconocer el origen antrópico de los cambios en las concentraciones de nutrientes. Estamos de acuerdo con la utilidad de la herramienta para correlacionar tiempo con cambios producidos y registrados en los sedimentados de un cuerpo de agua. Sin embargo, no estamos convencidos sobre la capacidad de esta herramienta para demostrar el origen de estos cambios, especialmente teniendo en cuenta las contradicciones descritas en nuestros comentarios a la conclusión 19.

20.6 En relación a la ecología del Santuario

Concordamos en general, y hacemos presente lo siguiente:

En esta sección se trabaja sobre la hipótesis que la desaparición del luchecillo fue la responsable de la migración y muerte de los cisnes.

Se propone un experimento de terreno que permita demostrar que las poblaciones de luchecillo no se han recuperado debido a que aún permanecen las altas concentraciones de metales. Hacemos notar que en el Segundo Informe de avance de la UACH se mostró que el luchecillo transplantado sobrevivió adecuadamente en el humedal y que en el Informe Final se indica que *Egeria* funciona mejor, desde el punto de vista de la fotosíntesis (un parámetro clave en el crecimiento y desarrollo de la planta), cuando se cultiva en agua que recibe directamente las descargas de ARAUCO. Pero estamos de acuerdo con que un experimento mejor planificado y replicado en el espacio y el tiempo puede arrojar luz sobre el problema.

Un segundo experimento está destinado a demostrar que el luchecillo no se ha recuperado porque los remanentes de las antiguas poblaciones están siendo intensamente forrajeados por los cisnes que permanecen en el área. Esta hipótesis es interesante y merece ser puesta a prueba.

En esta sección se enumera una serie de monitoreos que debiesen ser mantenidos para conocer y seguir el proceso de recuperación del humedal. El punto es interesante porque uno de los aspectos que dejó muy en claro el Informe Final es que el tipo de datos que se desea obtener, en el presente son escasos y de dudosa calidad.

20.7 En relación a la revisión de informes ambientales

Concordamos en general.

En esta sección se hace un llamado a mejorar la capacidad operativa y técnica de los organismos gubernamentales encargados de vigilar el cumplimiento de la normativa ambiental. Se enfatiza que de haber existido dicha capacidad en el pasado, muy probablemente se habrían detectado con anticipación los problemas que terminaron por dañar la calidad de las aguas del humedal.

6. CONCLUSIONES CASEB SOBRE EL INFORME FINAL UACH

CASEB concluye que el estudio de la UACH es un trabajo comprehensivo dentro de los breves límites de tiempo y escasos recursos económicos que se le otorgaron para realizarlo. El nivel de análisis es el esperable para un grupo de científicos que usan el método científico con rigurosidad, intentando interpretar los patrones observados de la manera más parsimoniosa posible, y proveyendo explicaciones mecanicistas a los procesos que aparecen involucrados. En la línea correcta de la argumentación científica, UACH consigna explícitamente qué hipótesis fueron rechazadas o aceptadas en relación a su análisis de los pocos datos disponibles.

Al respecto, CASEB hace notar que de acuerdo al método hipotético-deductivo que caracteriza a la ciencia, el rechazo de una hipótesis tiene más fuerza que su aceptación. Esto es porque, aún cuando una cierta hipótesis sea aceptada, no elimina la validez de otras hipótesis alternativas aún no puestas a prueba y que den cuenta del mismo fenómeno sin invocar factores más complejos (el llamado criterio de parsimonia). Esta asimetría en la aceptación o rechazo de hipótesis debe ser tenida en cuenta para el caso del Santuario de la Naturaleza, porque la aceptación no invalida la proposición de hipótesis alternativas igualmente parsimoniosas.

CASEB considera que una parte importante de las conclusiones del Informe Final UACH corresponden a hipótesis de trabajo razonables que merecen ser puestas a prueba con datos aún por obtener, más que a conclusiones definitivas. CASEB recomienda que dichas conclusiones (hipótesis de trabajo) sean confrontadas con hipótesis alternativas explícitas, para entender cabalmente el funcionamiento del ecosistema representado en el Santuario de la Naturaleza.

Aparte de lo anterior, CASEB tiene diversos reparos sobre los diseños de muestreo, diseños experimentales, análisis estadísticos e interpretación de resultados, que lo llevó necesariamente a considerar que varias conclusiones del Informe Final UACH no están suficientemente bien sustentadas en datos o análisis. Según nuestra evaluación de las 37 conclusiones del estudio, hay 9 conclusiones acertadas, 13 no acertadas y 15 dudosas (no hay base empírica para decidir si son acertadas o no).

CASEB concuerda con la UACH en que la mortalidad y emigración de los cisnes se debió a la desaparición de su recurso alimentario, el lucheillo *Egeria densa*. Pero le parece científicamente cuestionable, con la información actualmente disponible, la conclusión de la UACH que elementos o compuestos que ella atribuye a la operación de la planta de ARAUCO serían la causa principal, directa e inequívoca de la desaparición de dicho recurso.

Finalmente, CASEB reconoce la importancia de mantener el Santuario de la Naturaleza para las presentes y futuras generaciones, y urge a los científicos a unir esfuerzos y compartir conocimientos en aras de dicho objetivo.

7. EQUIPO CASEB/PUC

Centro de Estudios Avanzados en Ecología y Biodiversidad (CASEB)

<http://www.bio.puc.cl/caseb/>

Dr. Juan Correa, Ph.D., Director de Proyecto PUC/ARAUCO

Dr. Rafael Vicuña, Ph.D., Director de Proyecto PUC/ARAUCO

Dr. Fabian Jaksic, Ph.D., Jefe de Proyecto PUC/ARAUCO

Dr. Francisco Bozinovic, Ph.D. Especialista en ecofisiología animal.

<http://www.bio.puc.cl/profs/bozinovic/>

Dr. Juan Correa, Ph.D. Especialista en ecotoxicología acuática.

<http://www.bio.puc.cl/profs/correa/>

Dr. Luis Ebensperger, Ph.D. Especialista en conducta animal.

<http://www.bio.puc.cl/profs/ebensperger/>

Dr. José Miguel Fariña, Ph.D. Especialista en ecosistemas.

<http://www.bio.puc.cl/profs/farina/>

Dr. Javier Figueroa, Ph.D. Especialista en ecología vegetal.

<http://www.bio.puc.cl/auco/researchers.htm#Dr.%20Javier%20Figueroa>

Dr. Mario George-Nascimento, MV y Ph.D. Especialista en parasitología.

<http://www.ucsc.cl/ciencias/personal/paginas/mario-george.htm>

Dr. Fabian Jaksic, Ph.D., Especialista en ornitología y ecología de comunidades.

<http://www.bio.puc.cl/profs/jaksic/>

Dr. Mauricio Lima, Ph.D. Especialista en dinámica de poblaciones.

<http://www.bio.puc.cl/profs/lima/>

Dr. Roberto Nespolo, Ph.D. Especialista en ecofisiología.

<http://secure.uach.cl/infoacademicos/docentes/default.aspx?id=202>

Dr. Cecilia Perez, Ph.D. Especialista en nutrientes.

<http://www.bio.puc.cl/caseb/adjuntos/cperez.html>

Dr. Pablo Sabat, Ph.D. Especialista en ecofisiología animal.

<http://www.ciencias.uchile.cl/personal/academicos?nombre=sabatp&depto=csecol>

Dr. Sergio Silva, Ph.D. Especialista en ecología animal.

<http://www.bio.puc.cl/auco/researchers.htm#Dr.%20Sergio%20Silva>

Mgr. Yerko Vilina, Especialista en ornitología.

8. APÉNDICE: ANÁLISIS DETALLADO DE LOS CAPÍTULOS 4 AL 17 DEL INFORME FINAL UACH

Capítulo 4: Metales pesados

4.4. Metales pesados en aguas subterráneas

Pag. 14: Si las varianzas son heterogéneas, lo recomendado es hacer una transformación de los datos o utilizar una prueba estadística robusta ante heterocedasticidad de varianzas (Welch-Anova). En estos casos no se recomienda el uso de pruebas estadísticas no-paramétricas debido a que (1) funcionan con rankings (enmascarando el rango de variación de los datos) y (2) suponen identidad de varianzas en los rankings (supuesto que es aún mas difícil de lograr que la homogeneidad de varianzas paramétricas). No se entiende la razón y sentido de realizar una prueba de regresión para evaluar tendencias temporales. ¿Cuáles y cuántas estaciones temporales se midieron en cada sitio de muestreo?

Pag. 19: La prueba estadística es de Tukey y no de Tuckey. Si esta prueba es significativa, en el caso que la prueba de F de ANDEVA no sea significativa, hay un problema de violación de los supuestos del ANDEVA. La Tabla 6, en la que se informa sobre el resultado del ANDEVA deja entrever anomalías con el análisis: (1) Llama la atención que en este caso de evidente correlación (positiva) entre promedios y varianzas (mostradas en la Tabla 6) no se haga ningún comentario en términos de la heterocedasticidad de varianzas. (2) Evidentemente el análisis no esta balanceado (hay 44, 16 y 17 muestras para cada nivel), pero este aspecto no es comentado. Tampoco se comenta la evidente violación del supuesto de normalidad de los datos (ver Figuras 1 y 2).

4.5 Ambientes estuariales

Pag. 23: La observación de que los estuarios son propensos a contaminación no necesita ser apoyada por un argumento tan poco acertado como el que la palabra estuario aparece junto a las palabras contaminación y polución en muchos trabajos del ISI Web of Science. Ese argumento sólo indicaría que hay trabajos en los cuales se menciona, analiza, o discute los temas de la contaminación y polución en estuarios y no que los estuarios sean propensos a contaminación. Esto no es menor, dado que inmediatamente se afirma que los estuarios presentan “altos y generalizados niveles de contaminación en sus aguas y sedimentos” sin respaldar esta afirmación con ninguna referencia.

A pesar del punto anterior, cabe destacar que la información entregada en esta sección del documento es muy útil para entender el funcionamiento hidrológico del humedal. Uno de los puntos mas logrados en este sentido tiene relación con las variaciones de marea, especialmente con el análisis de la denominada “mancha de lodo” que subió por el río Calle-Calle y que en su momento fue noticia en la prensa.

4.7 Conclusiones del Capítulo 4

Pag. 30: Llama la atención que entre las conclusiones de esta sección no se ponga de manifiesto las altas concentraciones de Aluminio en el área.

Capítulo 5: Actividades productivas en la cuenca del río cruces

5.1 Fuentes difusas de eventual contaminación

Pag. 34: Resulta contradictorio el mencionar que el Glifosato tiene una vida media de unos pocos días en sistemas de humedales y luego presentar resultados de estudios en los cuales este compuesto se ha encontrado en altas concentraciones en sedimento, hasta por lo menos 55 días después de la aplicación. Si bien este producto puede tener una vida corta en la columna de agua es probable que permanezca por más tiempo en el sedimento. No se menciona el posible efecto que podría tener este compuesto atrapado en el sedimento sobre las plantas acuáticas.

Pag. 35: Conuerdo totalmente con los requerimientos que un estudio debiese cumplir para poder evaluar y caracterizar el efecto de pesticidas sobre los organismos del humedal.

Pag. 36: Resulta abrumadora la cantidad y diversidad de compuestos químicos que se reconoce fueron aplicados en un año en la provincia de Valdivia. Por esto y tomando en cuenta lo expuesto en el punto anterior, nos parece que no es posible hasta el momento sospechar que este tipo de compuestos no estén afectando al humedal.

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

Pag. 41: ¿Cuál es el sentido de repetir los resultados mostrados en la Tabla 13 en un párrafo completo? Ninguno de los resultados muestra variación o alguna medida de error asociada.

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

Pag. 42: Nuevamente se comete el sinsentido de repetir en dos párrafos los resultados presentados en la Tabla 14. En vez de eso habría sido más adecuado indicar que la forma en que se realizó el cálculo de los valores de carga diaria correspondió a la simple multiplicación de valores de concentración por caudal por segundos por días. No es de extrañar que para este tipo de cálculos no se incluyan estimaciones de error debido a que por definición los errores también debiesen multiplicarse produciendo valores de variación posible altísimos para cada estimación. Por otra parte en la última columna de la Tabla 14 se presenta un “valor medio” para cada componente. En realidad este no es un valor medio sino que un valor total que nace de la suma directa del aporte diario de cada planta al río. En relación con este valor, a pesar de lo grueso de la estimación, llama la atención que no se realice ningún comentario ante los resultados que muestran que las plantas de tratamiento ingresan cantidades no menores de nutrientes (nitrógeno

fósforo) y de algunos compuestos (sólidos suspendidos) que pueden producir importantes alteraciones en el ecosistema.

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

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

Pag 49: En la Tabla 18 se hacen evidentes las diferencias entre los valores límites establecidos en RA Exenta 279/89 y el DS 90/00 (ya citado para determinar los límites de las plantas de tratamientos de aguas servidas). Tanto los valores Temperatura, pH y Pb sobrepasan los valores de la RA Exenta 279/89 pero no los del DS 90/00. A pesar de lo mostrado en la Tabla, la DBO5 no sobrepasa ninguna de las normas. Los Sólidos Suspendidos efectivamente han sobrepasado ambas normas.

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

El análisis de estas secciones es bastante claro, y de corresponder los valores a los determinados en la RA Exenta N° 279/98, entonces las conclusiones son correctas.

5.4 Conclusiones del Capítulo 5

Pag. 57: Las conclusiones I a VI resumen lo ya expuesto en cada una de las secciones anteriores para las cuales ya se han entregado comentarios. Sin embargo, las conclusiones VI y VIII presentan un problema: se realiza una comparación entre las entregas de las EDAS basadas en valores de una sola fecha de muestreo para cada planta y de ARAUCO basado en el promedio de 9 fechas de muestreo. Al respecto cabe preguntarse: ¿Qué pasaría si se realiza el mismo análisis tomando aleatoriamente una de las fechas de muestreo de ARAUCO?, ¿Hasta qué punto se mantendría lo presentado en la Tablas 13 y 14 si se considerara 10 fechas de muestreo para los riles de las EDAS?

Capítulo 6: Calidad del agua del río Cruces

6.1. Antecedentes

6.2. Metodologías para la obtención de las muestras

Esta sección de detallado y logrado desarrollo contrasta con las anteriores, en las cuales prácticamente no se especifican las metodologías utilizadas para los análisis. En la sección se detallan una serie de metodologías estándar que fueron apropiadamente aplicadas a los análisis de la calidad del agua. Sin embargo, una vez más los análisis estadísticos son el punto mas débil de la sección:

Pag. 68: Se establece que para analizar las diferencias entre las estaciones se utilizó una prueba de análisis de varianza de una vía “agrupando” todas las muestras colectadas en las estaciones.

Qué significa “agrupar” las muestras? Entre paréntesis se especifica que el diseño de análisis esta desbalanceado (n = 4, 4 y 6).

Pag. 69: En cada una de las comparaciones no se entregan detalles de los tamaños muestrales y de las características de los datos en términos de dispersión y estructura de varianza. En esta misma página se especifica que “los datos faltantes fueron excluidos del análisis” (habrá alguna otra opción para estos datos?).

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

Pag. 74: Llama la atención en la Figura 8 de esta sección el hecho que en el agua del fondo de la estación 1^a (ubicada 100 m sobre el punto de descarga del RIL de ARAUCO) se observen valores de pH menores a 6.5, siendo que este es uno de los límites fijados por la RA Exenta N° 279/98.

Pag. 77: Llama la atención la drástica caída en los valores de oxígeno disuelto en las aguas superficiales de la estación 3.

Pag. 78: Nuevamente hay problemas estadísticos en el análisis: (1) Se establece que los datos fueron “agrupados” por estación. Al hacer esto, y observando la naturaleza de los datos, es obvio (especialmente por la variabilidad observada en la estación 3) que no hay homogeneidad de varianzas). (2) Nuevamente se reporta que el análisis de varianza no está balanceado (n = 28, 28, 28 y 36 para las cuatro estaciones respectivas). (3) Uno de los supuestos básicos para el tipo de análisis que se está realizando es que los datos de cada factor sean independientes (de otra forma hay que aplicar un andeva para datos pareados). En este caso no se realizó ninguna estimación del grado de independencia de los datos de las cuatro estaciones. Este supuesto es crucial, dado que se está tratando de analizar la influencia de la planta (con lo cual al menos las estaciones 1b y 2 tendrían que estar fuertemente correlacionadas).

Pag. 79: Nuevamente, la prueba es de Tukey y no de Tuckey.

Análisis de muestras compuestas

El análisis de los resultados en el caso de los metales pesados es inadecuado. En la Tabla 1 del Anexo II, se observa que las 4 muestras “agrupadas” por estación presentan importantes diferencias intra-estación, lo que invalida su uso como réplicas. Por ejemplo, en el caso del hierro las muestras de las estaciones 1a y 1b presentan una clara segregación entre superficie (con valores mayores) y fondo (con valores menores), mientras que las muestras de las estaciones 2 y 3 son mucho mas homogéneas entre superficie y fondo. Este último punto

indicaría una clara heterogeneidad de varianzas, la cual sumada al recurrente desbalanceo de los datos invalida los resultados de la prueba estadística utilizada.

Pag. 82: Nuevamente, en el caso del fósforo se cometen los mismos errores estadísticos que en los casos anteriores: análisis no balanceado y heterocedasticidad de varianza.

Pag. 83: Llama la atención el alto valor de nitrógeno observado en la estación 3. Asimismo, aunque el análisis de ANDEVA no lo muestre (probablemente por los errores estadísticos antes mencionados), en el caso del fósforo total y soluble está claro que las estaciones 2 y 3 tienen valores mayores que las estaciones 1a y 1b. Estas diferencias no son explicadas.

Pag. 86: Para el caso de los sólidos suspendidos y de los sólidos disueltos, la Tabla 25 muestra claramente que los datos tienen una correlación positiva entre los promedios y las varianzas y que por ende en el análisis se ha violado uno de los supuestos básicos del ANDEVA.

Pag. 87: En la Figura 14 se muestra claramente la tendencia mencionada en el punto anterior y además se observa que para el caso de los sólidos suspendidos hay una tendencia al aumento en los promedios aguas abajo del humedal y que para el caso de los sólidos disueltos los altos valores observados para la fracción inorgánica muestran a la vez una variabilidad la cual no soporta ningún análisis estadístico y que afecta a la tendencia observada en la fracción total.

Análisis de características de fondo y superficie entre estaciones

En toda esta sección no se especifica a qué corresponden los valores presentados. Se presume que son promedios entre 2 valores para cada altura de la columna de agua en cada estación?

Pag. 89: Falta algo de rigurosidad en el análisis de los resultados de esta sección. ¿Qué sentido tiene presentar datos carentes de variabilidad y más aún tomados en fechas distintas?

Pag. 91: En esta sección hay un análisis sesgado de las “tendencias” sustentadas por datos de dudosa validez (por las razones antes expuestas). En el caso del Hierro es aceptable la interpretación de que hay un aumento asociado a la estación 1b, punto de descarga de ARAUCO, el cual se mantiene aguas abajo. Para el caso del manganeso, zinc y cobre también se observa este aumento, pero desaparece rápidamente en la estación 2 y vuelve a aumentar en la estación 3. Estas variaciones no son tomadas en cuenta ni discutidas en el texto.

Pag. 91-92: En la página 91 se menciona que las concentraciones de nitrógeno, nitrato, amonio y fósforo soluble no mostraron mayores diferencias entre la estación 1a y 1b. En la Tabla 28 se observa que estos valores sí mostraron diferencias y que de seguirse la misma lógica que en las secciones anteriores, se podrían comentar algunas tendencias.

Pag. 97: El diseño de muestreo de esta sección --aparte de adolecer de una falta de replicación que afecta a todos los análisis y conclusiones--, no es adecuado para analizar el posible efecto de los RILes de ARAUCO sobre el humedal. Cabe destacar que la mayoría de las variables medidas en esta sección (que son afectadas de alguna medida en la estación 1b) no mantienen el aumento hasta la entrada del humedal (estación 3). Más aún, a pesar de que algunas variables logran

mantener los aumentos hasta la estación 3, la presencia y permanencia de una población de luchecillo sana localizada inmediatamente en el punto de muestreo de la estación 3 no permite relacionar a las alteraciones en las variables analizadas con la desaparición de esta especie de plantas desde el humedal.

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

Análisis de cargas netas diarias

Pag. 98: No se menciona la metodología utilizada para calcular las cargas netas diarias. Se asume que se multiplicaron las concentraciones de cada variable medidas en las muestras por un valor de caudal equivalente a 912.87. De esta forma, todos y cada uno de los comentarios particulares de la sección anterior son igualmente válidos para esta sección.

Pag. 106: Dado que en esta sección se preservan las tendencias presentadas en la sección anterior, nuevamente las conclusiones no son muy adecuadas, debido a que la mayoría de las variables medidas en esta sección que son afectadas de alguna medida en la estación 1b no mantienen el aumento hasta la entrada del humedal (estación 3). Más aún, a pesar de que algunas variables logran mantener los aumentos hasta la estación 3, la presencia y permanencia de una población de luchecillo sana localizada inmediatamente en el punto de muestreo de la estación 3 no permite relacionar a las alteraciones en las variables analizadas con la desaparición de esta especie de plantas desde el humedal.

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

Los análisis de esta sección se basan en los mismos datos que las dos secciones anteriores y por ende sufren de las mismas falencias antes mencionadas.

Pag. 107: La interpretación de las diferencias presentadas en la Tabla 35 es errada. Si bien las mayores diferencias entre ambas estaciones se dan efectivamente para la variable de los sólidos disueltos, las siguientes variables que muestran cambios importantes son: Zinc, Manganeso y DBO. En la misma página y haciendo referencia a la Tabla 36, una vez más se entrega el ranking de diferencias en forma errada: los que muestran mayores diferencias son los sólidos disueltos, el zinc, el manganeso y luego el hierro.

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. (ARAUCO) en Mariquina

Pag. 108: Se supone que las estaciones mencionadas como 1 2 y 3 corresponden a las mismas sobre las cuales se trabajó en las secciones precedentes. En esta sección no se detalla la prueba estadística utilizada (lo adecuado debiese haber sido un ANDEVA de medidas repetidas) y se hace evidente que la estructura de varianza de los datos llama a lo menos a la cautela al momento de revisar los resultados de las pruebas estadísticas realizadas. En el caso del escalamiento multidimensional, es cierto que los datos de marzo de 2005 tienden a dispersarse pero esta dispersión, tal como lo muestran en la Figura 29 no es robusta y depende fuertemente de la naturaleza y el tratamiento que se les da a los datos para ser incluidos en el análisis. Asimismo, y

a pesar de que el software utilizado tiene la posibilidad de generar intervalos de confianza para la agrupación de los datos, no se muestra ningún tipo de análisis de este tipo y las conclusiones son bastante cualitativas. Finalmente, en la sección de análisis mutidimensional, si bien se menciona que hay un componente estacional, este componente co-varía en ambos ejes del análisis. Lo adecuado en este caso habría sido girar los ejes hasta ajustar esta variación la variación estacional a uno de los ejes y tratar de explicar la variación en el eje ortogonal complementario haciendo referencia a otro componente ambiental. Llama la atención en estas dos últimas secciones el énfasis que se pone al muestreo de marzo de 2005 siendo que si el objetivo era definir el posible efecto de la Planta sobre las variables analizadas, al menos se debiese utilizar un análisis de bloque considerando los intervalos de tiempo con y sin funcionamiento de la Planta.

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. (ARAUCO) en Mariquina

No es adecuado presentar todas las tablas (42 a la 50) a ser analizadas en esta sección del documento. Lo ideal habría sido presentarlas en alguno de los anexos. Más aún, si luego se va a juntar toda esta información en otras tablas (51 a la 53) en las cuales los datos se ordenan por estación.

Pag. 135 a 136: Todos los “análisis” en estas páginas son cualitativos. Llama la atención la ausencia total de algún método que permita realizar docimación de hipótesis en relación con los datos presentados.

Pag. 140 a 152: A pesar de que los datos son graficados, nuevamente no se realizan pruebas estadísticas que permitan validar los resultados observados. Si se realiza el ejercicio de “juntar visualmente” (i.e., promediar) los datos para cada una de las estaciones en el tiempo, se observa que la variación intra-estación enmascara cualquier tendencia inter-estaciones. Por otro lado, en todas explicaciones de los patrones observados se hace mucho énfasis en comparar la variación de la estación 1 versus 2 y no se menciona para nada alguna explicación para las anomalías observadas en la estación 3, que en algunos casos presenta valores más altos que las estaciones 1 y 2 (Figuras 35, 36, 37 y 40) o para la el alto valor de la estación 1 (“control”) observado en la figura 38.

Pag. 152: El conjunto de comentarios presentados en el párrafo anterior disminuyen la robustez de las conclusiones presentadas en esta página. Es cierto que en algunos casos cualitativamente se han observado aumentos en los valores de las variables medidas en la estación 2, pero la variabilidad espacio-temporal de los datos y la ausencia de un diseño de muestreo y análisis de los datos adecuados no permiten concluir que estas diferencias sean significativas.

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

Pag. 153 a 167: Los análisis del signo y magnitud de los aportes de todas las variables son un buen ejercicio, una vez más cualitativo, que pretende solucionar la imposibilidad de realizar una análisis de promedios totales en la sección anterior. En muchos de los casos los aportes muestran una alta variabilidad tanto en signo y magnitud. Para poder obtener inferencias sería necesario

analizar el resultado global (sumatoria?) de los aportes registrados en el tiempo para cada variable.

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

El análisis de las cargas netas diarias una vez más deja de manifiesto que todas las variaciones temporales son de mayor magnitud que las variaciones espaciales de los datos (e.g., Figura 53 y 64). En otras palabras, las variables son afectadas en mayor medida por eventos temporales o de una magnitud espacial mayor a la utilizada en el estudio. Por otra parte y a un nivel de análisis más fino, si bien entre estaciones se observa que en algunos casos se han producido anomalías en la estación 2 (Figuras 53a, 55 y 60), en otros casos la estación 3 presenta valores más altos, los cuales no son explicados (Figura 54b, 56 y 59). Más aún, en algunos casos la estación 1 presenta valores más altos que la 2 y la 3 (Figura 58). Esta situación tampoco es discutida.

Pag. 180: El análisis realizado en la Figura 64 muestra que para el caso de los Sulfatos el efecto de la planta no va más allá de 150 metros aguas abajo y que por ende no afecta al humedal (que se inicia en la estación 3).

Pag. 182: Los comentarios de los párrafos anteriores una vez más le restan robustez a la conclusión presentada en esta página.

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

Pag. 182 a 193: Los análisis de esta sección una vez más son cualitativos. Llama la atención la ausencia de un tipo de análisis que permita identificar en cuántos casos las variaciones en signo y magnitud entre las estaciones 1 y 2 se mantienen hasta la estación 3 y en cuántos casos hay un cambio de signo o magnitud en la estación 3. Un análisis de autocorrelación entre para el total de datos registrados permitiría evaluar la independencias de los valores tomados en cada estación. De esta forma --de confirmarse la idea de que el RIL de ARAUCO afecta o afectó al humedal--, la tendencia de los datos debiese ser de una relación opuesta entre la estaciones 1 y 2, 1 y 3 y una alta correlación entre las estaciones 2 y 3. De no existir o de cambiar el signo para la interacción entre estas dos últimas estaciones, quedaría demostrado el efecto local del RIL. Por otra parte todo este análisis de pequeña escala debiese ser validado por un análisis previo en el cual se demostrara que la variabilidad Inter-estaciones es mayor que la variabilidad inter-fechas de muestreo. De no demostrarse esto, la posible causalidad de las variaciones Inter-estaciones sería muy discutible. En otras palabras, si las variaciones temporales son más amplias que las variaciones entre las estaciones de muestreo, es altamente probable que si los cambios en el estado del sujeto de estudio (humedal) se deban a alguna de las variables físicas medidas, el efecto de la variación temporal de estas últimas sea la real causa del fenómeno observado.

Pag. 194-199: Los análisis estadísticos son afectados por la estructura de varianzas (Figuras 74, 75 y 77) y además hay una variación “global” entre los dos bloques de tiempo analizados mayor a la observada para las estaciones (Figura 76 para el caso del nitrógeno, nitrato, y fósforo, Figura 77 para el caso del cobre, Figura 78 para el caso de los sólidos disueltos totales).

Pag. 200-203: La forma en que se entregan los resultados de los análisis multidimensionales muestran que claramente los datos y patrones observados no son robustos ante variaciones en los

criterios de inclusión o exclusión de puntos o ante criterios de validación para la ausencia de datos. En otras palabras, las variaciones observadas en la dispersión y ubicación de los puntos en los distintos diagramas muestran que las tendencias dependen más de la forma en la que se seleccionó y manipuló a los datos que de la naturaleza y diferencias originales de los datos.

Pag. 203- 205: El conjunto de comentarios antes expuestos reducen el alcance de las conclusiones descritas en las páginas 203-205. Particularmente, esto se debe a:

- 1) La ausencia de una replicación suficiente y el manejo estadístico inadecuado de los escasos datos disponibles derivan en que las tendencias observadas sean meramente cualitativas y por ende las conclusiones son sugerentes pero carecen de robustez.
- 2) La ausencia de un análisis comparativo en el cual se estime el grado de influencia temporal (i.e., inter-fechas) versus el espacial (inter-estaciones) o la posible influencia de eventos espaciales actuando a una escala superior a la del estudio (i.e., que provoquen aumentos o disminuciones generales, y mayores que los observados a escala inter-estaciones, de los valores de las variables analizadas).
- 3) La manipulación algo antojadiza de los datos, que queda de manifiesto en los análisis multidimensionales (en los cuales se demuestra que las variaciones más importantes dependen de cómo se eligen los datos y no de las diferencias entre los datos) y en los análisis comparativos de las estaciones 1, 2 y 3 (en los cuales se da más énfasis a las diferencias entre las estaciones 1 y 2, sin proponer ninguna explicación para los casos en los cuales las estaciones 1 y 3 presentan valores máximos).

Capítulo 7: Coloración de las aguas del río Cruces y humedales adyacentes

Pag. 212: Al parecer, cuando los autores se refieren a la primera y segunda comparación se están refiriendo a dos factores (1-río, 2-presencia de agua marrón) que fueron considerados para realizar dos análisis de varianza de una vía.

Pag. 213: Llama la atención el hecho que a pesar de la gran varianza mostrada en los datos de la Figuras 83 y 85, igual se hayan encontrado diferencias significativas. A pesar de los comentarios anteriores, el análisis realizado permite definir de manera bastante confiable la composición del agua marrón.

7.4.2 Fitoplancton

A la luz de los resultados de la sección anterior, los resultados de esta sección resultan particularmente interesantes. El incremento del fitoplancton y especialmente del grupo de las diatomeas está muy relacionado con las variaciones detectadas en los nutrientes y con el posible efecto que pueden tener estos organismos sobre la dinámica de penetración de la luz en el Santuario. A pesar de los comentarios anteriores, no queda claro en esta sección cuál es la causa del color marrón del agua.

7.5 Extensión a otros humedales

Pag. 227-235: Los resultados presentados en esta sección son igualmente interesantes y dejan en claro la extensión espacial del fenómeno de agua marrón.

Pag. 235-238: Las conclusiones entregadas parecen acertadas excepto por el punto (iii). Esta conclusión carece de fundamento si se toma en cuenta que en general, dados sus altos niveles de productividad, los humedales presentan grandes acumulaciones de materia orgánica vegetal en descomposición. De hecho, en el caso del río Cruces, toda el área cercana a la zona de totora presenta un horizonte anóxico y reductor bastante importante. De ser correcta la secuencia lógica planteada, el fenómeno de agua marrón debiese ser uno más de los componentes variables de los humedales (y no lo es). Alternativamente, se podría pensar en un efecto de enriquecimiento de nutrientes que afecto al humedal, el cual derivó en un bloom masivo de fitoplancton y diatomeas, los cuales bloquearon la luz para el lucheillo. Esta idea es igualmente especulativa pero, va más en concordancia con los perturbaciones por eutroficación de los humedales, que normalmente van asociadas con cambios en la abundancia y composición de sus especies vegetales.

Capítulo 8: Bioacumulación de metales pesados en organismos bentónicos

En esta sección aparece un elemento, el manganeso, que fue olvidado en la sección de análisis de calidad de agua. Las conclusiones de la página 257 son correctas.

Capítulo 9: Bentos de fondos sedimentarios

Pag. 256-277: Se realiza un análisis detallado de la situación faunística de invertebrados a través del humedal. Llama la atención que la elección de sitios para esta parte del estudio está dissociada de la considerada para evaluar la calidad del agua (mayoritariamente bajo la estación 3). Por ende, se debería pensar que las condiciones ambientales del Santuario se mantienen aguas debajo de la mencionada estación 3, tal como se reportó en las secciones anteriores. También llama la atención que a diferencia de las secciones anteriores, en ésta se utiliza el análisis multidimensional de manera más acertada.

Pag. 277-295: Los análisis y conclusiones de esta sección son adecuados. Sólo cabe comentar si las metodologías de muestreo utilizadas son equivalentes a las utilizadas en las fechas históricas de muestreo.

Capítulo 10: Comportamiento biogeoquímico de fondos sedimentarios

Pag. 296-304: Los análisis y resultados de esta sección son concisos y adecuados. Cabe destacar que en las conclusiones se menciona que las características biogeoquímicas de los sedimentos corresponden con las de lugares con una baja incidencia de materia orgánica en descomposición. Esta conclusión no respalda la idea planteada en el punto (iii) de las conclusiones de la sección referente al fitoplancton.

Capítulo 11: Registro histórico de las concentraciones de metales pesados (Geocronología)

Pag. 305-317: El análisis de los sedimentos aporta información sobre la alta concentración de aluminio en el sistema. En torno a la metodología cabe preguntarse si, conociéndose que las estaciones más lejanas al cabezal de humedal presentan una mayor perturbación marina, se realizaron ajustes a las tasas de acreción y sedimentación de las distintas áreas estudiadas.

Capítulo 12: Perfiles de metales pesados en sedimentos del Santuario

El análisis de esta sección aporta información histórica y espacial muy importante para el informe. Por lo mismo resulta desafortunada la extensión tan restringida del análisis en términos espaciales. Habría sido muy interesante incluir análisis en los sedimentos de los tributarios y en los sedimentos de la zona de la Planta o al menos en la zona en la cual se realizó el análisis de la calidad del agua.

Capítulo 13: Bentos de fondos ritrales

Pag. 334: Se utilizan técnicas estadísticas de manera poco adecuada. La Figura 120 muestra claramente una relación positiva entre varianza y promedios lo cual resta poder a la prueba de ANDEVA realizada. Asimismo, no tienen sentido hacer ni reportar una prueba a posteriori como el Tukey-HSD si no hay diferencias significativas a nivel de la ANDEVA.

Pag. 340: Las conclusiones expuestas aquí dejan de manifiesto un punto muy importante en el informe: la variabilidad espacial de los parámetros que se han medido sugieren que la calidad del ambiente acuático se ha deteriorado no solo con relación al efluente de ARAUCO sino que al parecer debido a otros factores. Cabe preguntarse si en esta sección del estudio se estandarizó de alguna manera por las posibles variaciones en la estructura del hábitat de las distintas estaciones.

13.4.2 Comparaciones históricas

Se acoge y agradece la aclaración expuesta en la pagina 341.

Capítulo 14: Ictiofauna

Se realiza una descripción detallada y muy rica en términos naturalistas sobre las especies componentes de la ictiofauna del humedal. Luego se realiza un análisis histórico de los cambios observados en este grupo con una buena discusión explicando las posibles causas para la variabilidad observada.

Capítulo 15: Avifauna

Esta es una de las secciones mejor logradas del informe. En ella se utilizan adecuadamente herramientas estadísticas, de análisis de series de tiempo y de escalamiento multidimensional para describir en forma acertada las dinámicas y variaciones del ensamble y en algunas poblaciones particulares de la avifauna del humedal. Las conclusiones de esta sección aportan

una base cuantitativa a antecedentes que de alguna forma han estado circulando en la prensa y ámbito científico-naturalista desde mediados del año pasado (2004).

Capítulo 16: Historia natural del cisne de cuello negro *Cygnus melancoryphus*

En esta sección se recopila una gran cantidad de información. Lo interesante es que entrega una perspectiva amplia, desde la misma biología de la especie, que permite poner en contexto geográfico y temporal a la población de cisnes de cuello negro del humedal, y las dinámicas descritas en la sección anterior.

Capítulo 17: Estado actual de la salud ambiental del Santuario

En esta sección se recopilan las conclusiones de cada una de las secciones anteriores sobre las cuales ya se han entregado comentarios arriba.