

**PROGRAMA DE DIAGNOSTICO AMBIENTAL DEL HUMEDAL DEL RIO  
CRUCES Y SUS RIOS TRIBUTARIOS: 2014-2015**

**18 Febrero 2014**

## INDICE

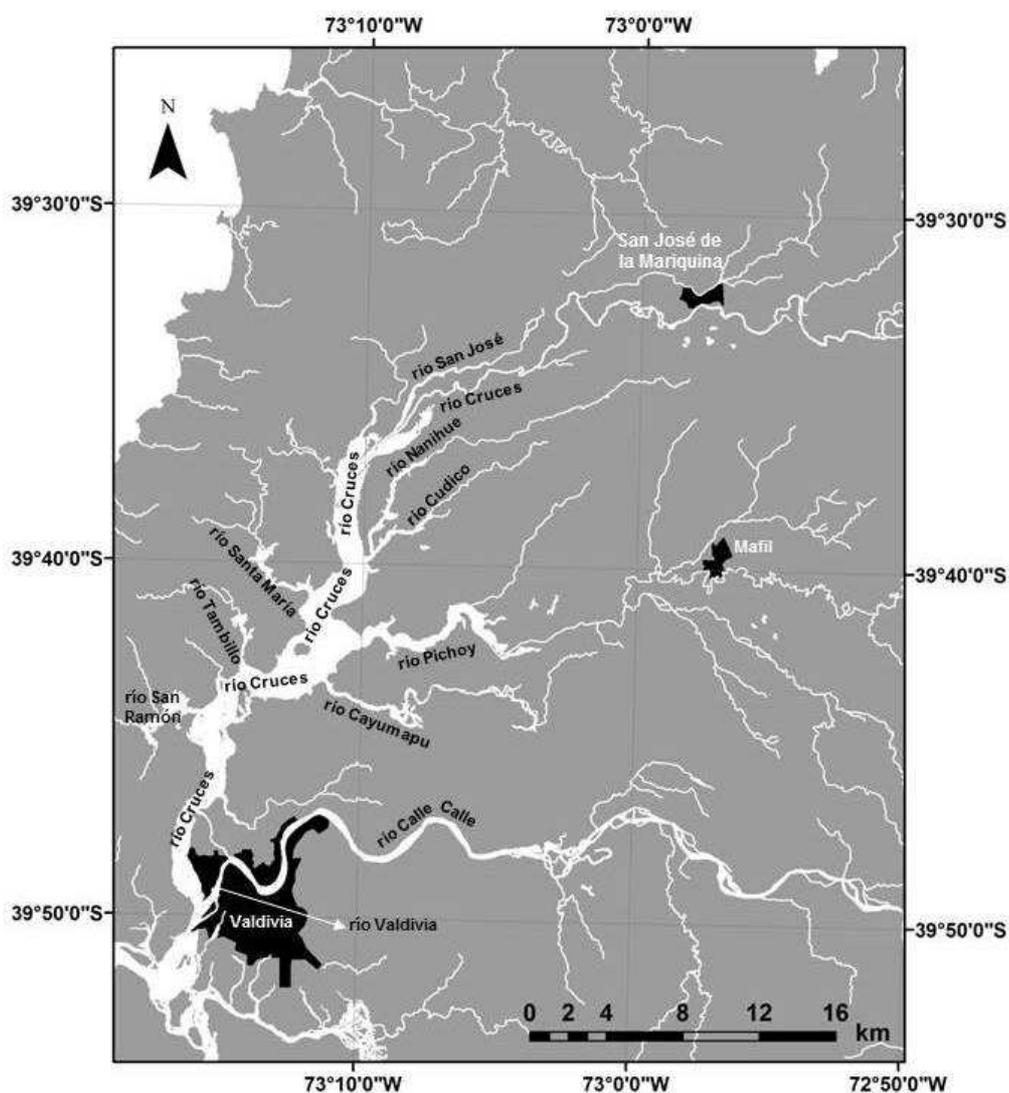
---

	página
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>III. ENFOQUE ANALITICO Y ASPECTOS RELEVANTES DEL PROGRAMA DE DIAGNOSTICO AMBIENTAL 2014-2015 (PDA 14-15)</b>	<b>4</b>
<b>Condiciones, procesos y relaciones a diagnosticar</b>	<b>4</b>
<b>Preguntas de investigación y significado de los estudios</b>	<b>11</b>
<b>Información ya existente a incluir en el diagnóstico</b>	<b>15</b>
<b>Aspectos relevantes de esta propuesta</b>	<b>17</b>
<b>IV. ACTIVIDADES Y ANALISIS DEL DIAGNOSTICO</b>	<b>20</b>
<b>Calidad del agua</b>	<b>20</b>
<b>Calidad de sedimentos</b>	<b>25</b>
<b>Condiciones hidrográficas</b>	<b>35</b>
<b>Estado actual de la flora</b>	<b>40</b>
<b>Distribución espacial, cobertura y estado sanitario de macrófitas acuáticas</b>	<b>40</b>
<b>Análisis espacio - temporal de la calidad del agua y cobertura de macrófitas acuáticas mediante sensores remotos</b>	<b>45</b>
<b>Estado actual de la fauna</b>	<b>46</b>
<b>Estado de la macroinfauna de fondos sedimentarios</b>	<b>46</b>
<b>Estado de la macrofauna de fondos ritrales</b>	<b>48</b>
<b>Estado de la fauna de camarones</b>	<b>52</b>
<b>Estado de la ictiofauna</b>	<b>57</b>
<b>Estado de la fauna de anfibios (ranas) y reptiles</b>	<b>67</b>
<b>Estado de la avifauna</b>	<b>69</b>
<b>Estado de la fauna de mamíferos acuáticos</b>	<b>74</b>
<b>Estado actual del uso del suelo en el área de influencia del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios</b>	<b>77</b>
<b>Uso de análisis de riesgo ecológico para identificación de amenazas</b>	<b>85</b>
<b>Conocimiento ecológico local</b>	<b>88</b>
<b>Servicios ecosistémicos</b>	<b>92</b>
<b>V. ANALISIS INTEGRADO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>98</b>
<b>VI. EQUIPO DE INVESTIGADORES</b>	<b>99</b>

---

## I. INTRODUCCION

Durante el periodo invierno - primavera del año 2004, ocurrieron en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (Figura 1) cambios ambientales significativos, incluyendo entre otros la mortandad por causas desconocidas y emigración de la población de Cisnes de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*) y la reducción significativa en la cobertura de la macrófita acuática Luchecillo (*Egeria densa*); planta que antes del año 2004 era la fuente primaria de alimento de los cisnes en este humedal.



**Figura 1.** Ubicación del humedal del río Cruces y los ríos tributarios de mayor importancia por su volumen hídrico.

Como consecuencia de lo anterior y en base a resultados de estudios realizados por la Universidad Austral de Chile, el Consejo de Defensa del Estado inició un juicio en contra de Celulosa Arauco y Constitución, cuya planta Valdivia fue sindicada como la presunta responsable de los cambios ambientales arriba mencionados.

Con fecha 27 de julio de 2013, la Jueza del Primer Juzgado Civil de Valdivia, Doña Gloria Hidalgo dictó sentencia, declarando culpable a la empresa y condenándola a implementar una serie de medidas tendientes a preservar el humedal del río Cruces, correspondiendo la primera de ellas a ***“Realizar a través de un equipo interdisciplinario de diverso expertos en las áreas de biología, química y física, un estudio sobre el estado actual del Humedal, para dicho efecto, se deberá crear un comité independiente, en el que participen las partes y cuya duración no excederá a un año, el que comprenderá el estado de las aguas, flora y fauna del humedal”***.

Por otra parte, Arauco en acuerdo con el Consejo del Defensa del Estado (CDE) conformó el 26 de noviembre del 2013 un Consejo Científico Social (CCS), cuyo objetivo ha sido realizar sugerencias y orientaciones a las medidas dictadas por la sentencia judicial.

Como se mencionó anteriormente, una de estas medidas corresponde a una evaluación del estado actual o diagnóstico ambiental del humedal, para lo cual el CCS encargó a la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile (UACH), diseñara una propuesta para dar cumplimiento a esta parte de la sentencia y considerando una serie de orientaciones para el diseño de ese diagnóstico (ver Tabla siguiente).

**CONSEJO CIENTÍFICO Y SOCIAL**  
**ORIENTACIONES GENERALES PARA EL PRE-DISEÑO DEL DIAGNÓSTICO DEL HUMEDAL.**  
**(MEDIDA 1)**

ÁREA DE ESTUDIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su ámbito de acción directo es la zona de influencia del Humedal del Río Cruces (Río + Santuario + Estuario).</li> </ul>
OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterizar el estado actual del Humedal del Río Cruces.</li> <li>• Dimensionar el alcance temporal y espacial de la afectación del Humedal.</li> <li>• Orientar el Programa de Monitoreo.</li> </ul>
COMPONENTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad del agua.</li> <li>• Calidad de sedimentos.</li> <li>• Estado de Fauna.</li> <li>• Estado de Flora.</li> <li>• Servicios ecosistémicos.</li> <li>• Identificación de amenazas (por ejemplo, cambios de uso de suelo, fauna introducida, etc.)</li> <li>• Régimen hidrológico.</li> <li>• Aguas subterráneas.</li> </ul>
METODOLOGÍA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe ser un diagnóstico con un fin operativo.</li> <li>• Deberá tener vinculación directa con los distintos Programas de Monitoreo y Manejo del Humedal.</li> <li>• Considerar técnica de teledetección (imágenes satelitales).</li> <li>• Considerar la identificación y evaluación de humedales relacionados como ecosistemas de referencia.</li> <li>• Metodologías reconocidas, actualizadas, laboratorios certificados (con acreditación de procedimientos analíticos).</li> <li>• Recopilar, sistematizar y considerar la información disponible (estudios publicados, otros datos como censos y catastros), incluyendo información anterior a 2004 y los antecedentes utilizados en la elaboración de la norma secundaria del Río Valdivia.</li> <li>• Considerar la participación de la comunidad y su conocimiento ecológico local en el diseño y la implementación del diagnóstico.</li> <li>• Definir indicadores posibles de medir a corto plazo, considerando la oportunidad de evaluar el ecosistema en temporada de verano 2014 (período de mínimo caudal).</li> <li>• Considerar metodología de "Evaluación de Riesgos".</li> </ul>
USOS DE LA INFORMACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Información se deberá entregar al CIH y será de carácter pública.</li> <li>• Debe tener instancias de evaluación de los datos y de difusión pública de los resultados. Se espera que sus conclusiones puedan, además de describir el estado del humedal, proponer cursos de acción que contribuyan al objetivo de preservar y restaurar.</li> </ul>
ENTIDAD RESPONSABLE DEL PRE-DISEÑO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facultad de Ciencias de la UACH. Tal como en otras medidas, se sugiere incorporar expertos de otras instituciones relevantes.</li> </ul>

En base a las orientaciones indicadas en la Tabla anterior, la Facultad de Ciencias de la UACH, en conjunto con investigadores de la Universidad de Concepción y Santo Tomás de Santiago, ha preparado esta propuesta de Programa de Diagnóstico Ambiental (PDA 14-15) a ejecutarse en un plazo de 12 meses.

## II. OBJETIVOS

Los objetivos del PDA 14-15 son:

- Caracterizar el estado ambiental actual del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.
- Dimensionar el alcance temporal y espacial de la afectación del humedal.
- Generar información sobre la cual se sustente el Programa de Monitoreo Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

## III. ENFOQUE ANALITICO Y ASPECTOS RELEVANTES DEL PROGRAMA DE DIAGNOSTICO AMBIENTAL 2014-2015 (PDA 14-15)

### **Condiciones, procesos y relaciones a diagnosticar**

Durante el año 2012 y parte del año 2013, se realizó el estudio **“Diagnóstico ambiental del humedal del río Cruces basado en la comparación de condiciones ambientales actuales e históricas: bases para su monitoreo y sustentabilidad”**. Este estudio fue financiado por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y fue dirigido por el Dr. Eduardo Jaramillo, académico de la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile. El Informe Final del mismo fue entregado a estas dos entidades estatales, el 13 de septiembre del año 2013 y presentado al CCS el día 17 de diciembre del 2013.

Los resultados obtenidos en el estudio anteriormente mencionado, permitieron concluir que componentes específicos del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios están en proceso de recuperación (*e.g.*, cobertura del Luchecillo, estado sanitario y abundancias poblacionales de cisnes de cuello negro). Sin embargo, persiste la duda si esto es un proceso definitivo o parte de un complejo proceso donde fluctuaciones de todo tipo sean la norma.

Tal duda se origina en el hecho, de que aun cuando los resultados obtenidos durante el año 2012 y parte del 2013, entregan una visión bastante actualizada del diagnóstico o situación ambiental de este humedal y sus ríos tributarios (Fig. 1), hay tópicos que es necesario abordar y/o profundizar, ya que varios de los estudios realizados durante el año 2012 y parte del año 2013 estuvieron restringidos en espacio y tiempo (*e.g.* concentración de metales pesados en agua, sedimentos y plantas acuáticas) y otros no fueron considerados. Entre estos, se pueden mencionar:

- Concentración de elementos orgánicos persistentes en agua, sedimentos y organismos.
- Condiciones hidrográficas en los ríos tributarios del humedal.
- Estado de la macroinfauna de organismos bentónicos en los fondos sedimentarios en los ríos tributarios del humedal
- Estado de la macrofauna de fondos ritrales o pedregosos.
- Estado sanitario e histopatológico de la ictiofauna.
- Estado de las poblaciones de anfibios y reptiles.
- Estado de la fauna de mamíferos acuáticos, incluyendo especies nativas e introducidas.
- Cambios de uso de suelo en el área de influencia del humedal.
- Conocimiento ecológico local como apoyo a la comprensión de los cambios ambientales que han ocurrido y que ocurren en el área.
- Estudios ecosistémicos.

Desde una perspectiva ecosistémica, la aparente reversión del estado del humedal del río Cruces y las brechas existente en información científica mencionadas anteriormente, indican también la necesidad que el presente PDA genere resultados que puedan ser posteriormente incluidos en un análisis de resiliencia ecosistémica.

En ese caso, se espera que la información resultante del PDA 14-15 sea la base para producir un conjunto de medidas de manejo que logren la sustentabilidad de humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, considerando tanto la sustentabilidad de los recursos naturales y servicios ecosistémicos que provee, como la calidad de vida de la comunidad Valdiviana asociada al río Cruces.

Es esperable, entonces, que luego de este diagnóstico ambiental, el programa de monitoreo y líneas de investigación posteriores se enfoquen en definir trayectorias y estados de recuperación que sean del propio humedal y acorde con expectativas ciudadanas. Es decir, definir la resiliencia del río Cruces en términos específicos planteándose la pregunta: ¿la resiliencia *de qué y para qué* ? (*cf. Walker et al. 2002*), teniendo en consideración las precauciones teóricas en el uso de este concepto que han sido destacadas últimamente (*Reghezza-Zitt et al. 2012*). En todo caso, este tipo de aproximaciones deberán ser trabajadas en colaboración con los organismos públicos y los actores locales informados, a fin de trabajar un modelo ecosistémico conceptual donde se expliciten los objetivos en torno a lo que se acuerde como recuperación del humedal.

Teniendo en cuenta, el ámbito de acción de los objetivos de este Programa de Diagnóstico, se presenta a continuación el listado de estudios a desarrollar en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, para solucionar la falta de información arriba señalada y cuyo desarrollo responde a las orientaciones emitidas por el CCS:

**Estudio 1:** Calidad del agua y sedimentos (da cuenta de los componentes Calidad del agua y Calidad de sedimentos señalados por el CCS).

**Estudio 2:** Condiciones hidrográficas (da cuenta del componente Régimen hidrológico señalado por el CCS).

**Estudio 3:** Distribución espacial, cobertura y estado sanitario de macrófitas acuáticas (da cuenta del componente Estado de Flora señalado por el CCS).

**Estudio 4:** Análisis espacio - temporal de la calidad del agua y cobertura de macrófitas acuáticas mediante sensores remotos (da cuenta de los componentes Calidad del agua y Estado de Flora y de recomendación metodológica señalados por el CCS).

**Estudio 5:** Estado de la macroinfauna de fondos sedimentarios (da cuenta del componente Estado de Fauna señalado por el CCS).

**Estudio 6:** Estado de la macrofauna de fondos ritrales (da cuenta del componente Estado de Fauna señalado por el CCS).

**Estudio 7:** Estado de la fauna de camarones (da cuenta del componente Estado de Fauna señalado por el CCS).

**Estudio 8:** Estado de la ictiofauna (da cuenta del componente Estado de Fauna señalado por el CCS).

**Estudio 9:** Estado de la fauna de anfibios (ranas) y reptiles (da cuenta de los componentes Estado de Fauna e Identificación de amenazas señalados por el CCS).

**Estudio 10:** Estado de la avifauna (da cuenta del componente Estado de Fauna señalado por el CCS).

**Estudio 11:** Estado de la fauna de mamíferos acuáticos (da cuenta de los componentes Estado de Fauna e Identificación de amenazas señalados por el CCS).

**Estudio 12:** Estado actual del uso del suelo en el área de influencia del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (da cuenta del componente Identificación de amenazas señalado por el CCS).

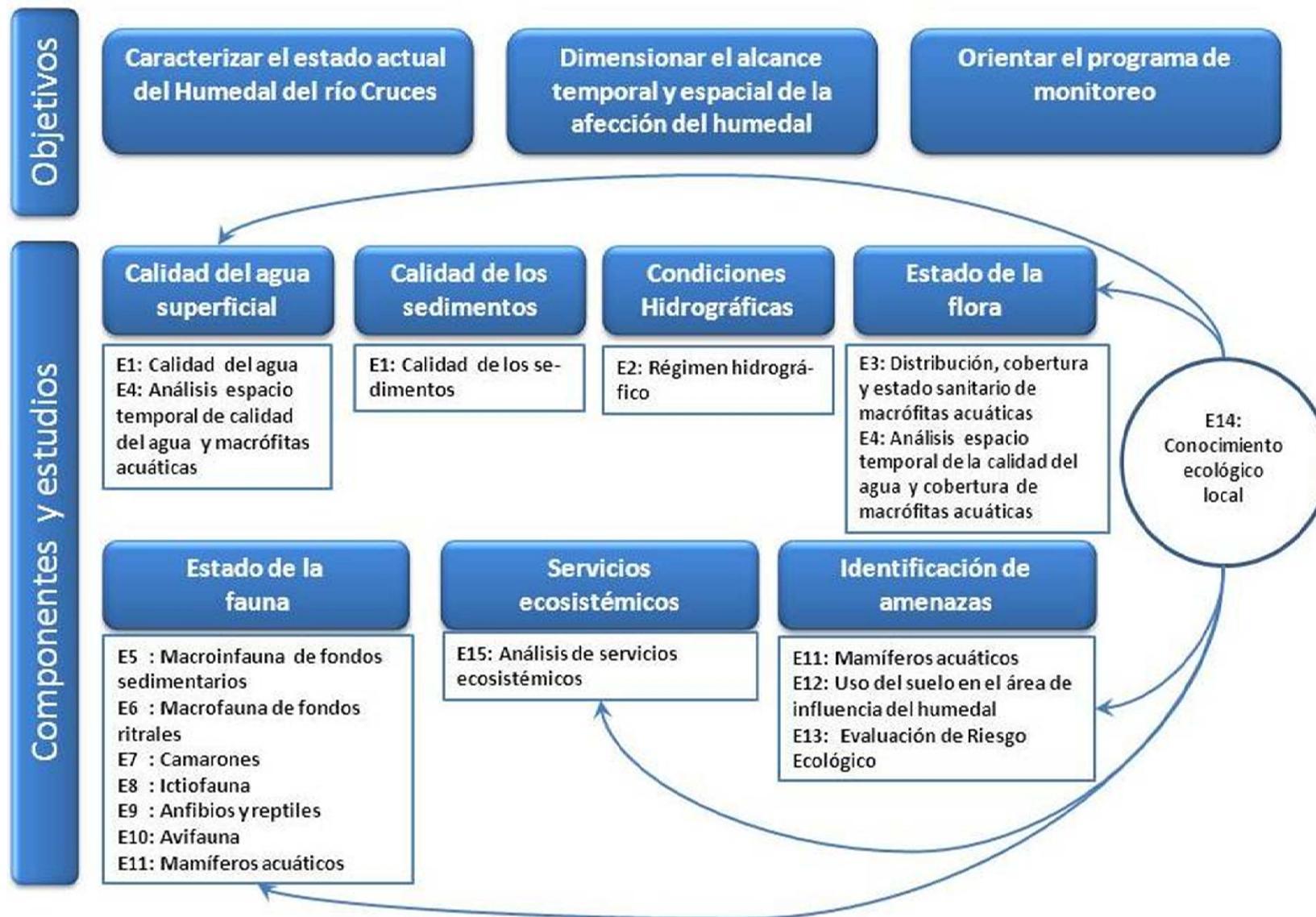
**Estudio 13:** Uso de análisis de riesgo ecológico para identificación de amenazas (da cuenta del componente Identificación de amenazas señalado por el CCS).

**Estudio 14:** Conocimiento ecológico local (da cuenta entre otros, del componente Identificación de amenazas señalado por el CCS).

**Estudio 15:** Análisis de servicios ecosistémicos (da cuenta del componente Servicios ecosistémicos señalado por el CCS).

La Figura 2 muestra la relación entre los componentes - que a sugerencia del CCS debe tener el programa de diagnóstico - con los estudios diseñados para dar cumplimiento a los objetivos específicos del mismo.

Interesa destacar en esta figura, que el Estudio 14 (Conocimiento ecológico local) genera información valiosa para varios de los otros estudios, como ser: Calidad del agua superficial (Estudio 1), Distribución espacial, cobertura y estado sanitario de macrófitas acuática (Estudio 3), Análisis espacio temporal de calidad del agua y macrófitas acuáticas (Estudio 4), Estado de la macroinfauna de fondos sedimentarios (Estudio 5), Estado de la macrofauna de fondos ritrales (Estudio 6), Estado de la fauna de camarones (Estudio 7), Estado de la ictiofauna (Estudio 8), Estado de la fauna de anfibios y reptiles (Estudio 9), Estado de la avifauna (Estudio 10), Estado de la fauna de mamíferos acuáticos (Estudio 11), Uso del suelo en el área de influencia del humedal (Estudio 12) y Servicios ecosistémicos (Estudio 15).



**Figura 2.** Relación entre componentes sugeridos por el CCS para el Programa de Diagnóstico y los estudios diseñados para dar cumplimiento a los objetivos específicos del mismo.

Los resultados de cada uno de los estudios anteriormente mencionados, indicarán cual es el estado actual del componente específico que se ha estudiado o diagnosticado. Sin embargo será el análisis integrado de todos ellos, los que permitirán conocer cuál es el estado actual del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios , incluyendo entre algunos de esos aspectos los que se mencionan a continuación:

- Distribución espacial de los cambios ambientales que se originaron el año 2004; es decir, análisis de por ejemplo, calidad de agua y cobertura de macrófitas acuáticas antes y después de que se iniciaran esos cambios. Las siguientes son solo dos de las preguntas que apuntan en esta línea y cuyas respuestas a las mismas, provendrán del análisis integral de resultados provenientes de varios estudios: fue la desaparición del Luchecillo homogénea en toda el área del humedal ?, o por qué la recolonización del Luchecillo observada en el último par de años ha sido heterogénea en el área ?
- Distribución espacial de la recuperación de indicadores de salud del medio acuático, tales como calidad del agua y sedimentos, cobertura de macrófitas acuáticas, estado sanitario, abundancias y actividad reproductiva de los cisnes de cuello negro. Una pregunta clave aquí es: ha sido la recuperación de estos indicadores similar en toda el área del humedal ? si no es así, cual es la explicación a tal patrón de heterogeneidad ?
- Recuperación de indicadores específicos del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios e ingresos de residuos industriales al río Cruces: está la aparente recuperación de esos indicadores relacionada a cambios temporales (años) en las cargas de elementos & compuestos químicos que entran al río en su zona fluvial ?
- Eventual deterioro de los servicios ecosistémicos del humedal: cuál es el grado de afectación de esos servicios y cuál es la distribución de la misma en el área ?

## Referencias

Reghezza-Zitt, M., Rufat, S., Djament-Tran, G., Le Blanc, A. & Lhomme, S. (2012). What Resilience Is Not Uses & Abuses. *Cybergeo: European Journal of Geography, Environment, Nature, Paysage* 621: 1-25.

Walker, B., S. Carpenter, J. Anderies, N. Abel, G. S. Cumming, M. Janssen, L. Lebel, J. Norberg, G. D. Peterson, and R. Pritchard. (2002). Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology* 6(1): 14. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol6/iss1/art14/>

## Preguntas de investigación y significado de los estudios

La Tabla 1 muestra las preguntas más relevantes para las cuales el Programa de Diagnóstico Ambiental del año 2012 y parte del 2013 no entregó respuestas. En la misma Tabla se indican los estudios diseñados como parte del PDA 14-15 para dar respuestas a esas preguntas.

**Tabla 1.** Preguntas sin respuestas que resultaron del programa de diagnóstico ambiental realizado durante el año 2012 y parte del 2013 y estudios sugeridos como parte del Programa de Diagnóstico Ambiental 2014-2015.

PREGUNTAS SIN RESPUESTAS LUEGO DEL PROGRAMA DE DIAGNOSTICO AMBIENTAL 2012-2013	ESTUDIOS SUGERIDOS COMO PARTE DEL PROGRAMA DE DIAGNOSTICO AMBIENTAL 2014-2015
<b>En relación a la CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS:</b>	
<p>Cuáles son las concentraciones actuales de compuestos orgánicos persistentes como AOX, EOX, ácidos grasos y resínicos, en el agua y sedimentos del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios ?</p>	<p><b>Estudio 1:</b> Calidad del agua y sedimentos.</p>
<p>Existe variabilidad estacional en las concentraciones de los elementos anteriormente mencionados ? ; si es así, puede tal variabilidad estar relacionada a variabilidad del caudal hídrico y condiciones mareales ?</p>	<p><b>Estudio 2:</b> Condiciones hidrográficas.</p>
<p>Cuál es la variabilidad en la magnitud del caudal y extensión de la onda mareal aguas arriba del río Cruces y ríos tributarios del humedal ?</p>	

**En relación a las MACROFITAS ACUATICAS:**

Por qué hay diferencias en la recolonización del Luchecillo en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios ?

**Estudio 3:** Distribución espacial, cobertura y estado sanitario de macrófitas acuáticas.

*Los resultados de este estudio se relacionan con los del **Estudio 1** (Calidad del agua y sedimentos) y **Estudio 2** (Condiciones hidrográficas).*

Pueden relacionarse esas diferencias a variabilidad espacial en calidad del agua y sedimento ? o a diferencias en las condiciones hidrográficas a través del humedal *in toto* ?

**En relación a la VARIABILIDAD HISTORICA DE CALIDAD DE AGUA Y COBERTURA DE MACROFITAS:**

¿Es posible identificar tendencias espacio - temporales en calidad del agua y cobertura de macrófitas acuáticas en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, de tal modo de reconstruir el estado ambiental pre - 2004 ?

**Estudio 4:** Análisis espacio - temporal de la calidad del agua y cobertura de macrófitas acuáticas mediante sensores remotos.

¿Es posible identificar las escalas de variabilidad espacial y temporal (interanual) en los indicadores de calidad del agua y cobertura de macrófitas acuáticas, tanto en base a imágenes existentes como a imágenes de mayor resolución espectral?

**En relación a la MACROFAUNA BENTONICA DE FONDOS SEDIMENTARIOS:**

Cuál es la distribución, riqueza de especies y abundancia de la macroinfauna de organismos bentónicos que habita los fondos sedimentarios del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios ?

**Estudio 5:** Estado de la macroinfauna de fondos sedimentarios.

*Los resultados de este estudio se relacionan con los del **Estudio 1** (Calidad del agua y sedimentos) y **Estudio 2** (Condiciones hidrográficas).*

Cuál o cuáles de esos organismos, es o son susceptibles de ser utilizados como bioindicadores de determinadas condiciones ambientales dentro del humedal ?

**En relación a la MACROFAUNA BENTONICA DE FONDOS RITRALES O PEDREGOSOS:**

Cuál es la riqueza de especies y abundancia de la macrofauna de organismos bentónicos que habita los fondos ritrales del río Cruces ?

**Estudio 6:** Estado de la macrofauna de fondos ritrales.

*Nota:* Los resultados de este estudio se relacionan con los del **Estudio 1** (Calidad del agua y sedimentos).

Cuál o cuáles de esos organismos, son utilizados como bioindicadores de determinadas condiciones ambientales en ambientes fluviales ?

**En relación a la FAUNA DE CAMARONES:**

Cuál es la abundancia y tamaño corporal de los camarones que habitan en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios ?

**Estudio 7:** Estado de la fauna de camarones.

Existe acumulación subletal de metales pesados y/o compuestos orgánicos persistentes en estos organismos, los cuales son parte importante de la dieta de peces, aves carnívoras y mamíferos acuáticos en el área ?

**En relación a la ICTIOFAUNA (FAUNA DE PECES)::**

Cuál es la diversidad y abundancia de peces en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios ?

**Estudio 8:** Estado de la ictiofauna.

Existe acumulación subletal de metales pesados y/o compuestos orgánicos persistentes en estos organismos, los cuales son parte importante de la dieta de aves carnívoras y mamíferos acuáticos en el área ?

*Nota:* Los resultados de este estudio se relacionan con los del **Estudio 1** (Calidad del agua y sedimentos).

Cuál es el estado sanitario actual de la ictiofauna del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios ? (i.e. hay agentes patógenos y/o potencialmente patógenos tanto de origen bacteriano como viral, parasitario o micótico en la población íctica del área ?)

Hay evidencias histopatológicas que afecten a la fauna de peces ?

**En relación a la FAUNA DE ANFIBIOS (RANAS) Y REPTILES:**

Cuál es la distribución, riqueza de especies y abundancia de los anfibios (ranas) en las orillas del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios ?

**Estudio 9:** Estado de la fauna de anfibios (ranas) y reptiles

**En relación a la AVIFAUNA:**

Cuál es la distribución espacial y la abundancia de la avifauna en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios ?

**Estudio 10:** Estado de la avifauna.

Cuál es la relación entre la abundancia de las aves herbívoras y las condiciones de calidad del agua y abundancia de alimento (macrófitas acuáticas) en el área ?

Cuáles son los sitios de nidificación y alimentación de las especies de aves acuáticas más abundantes del área ?

Existe evidencia de acumulación subletal de metales pesados y / o compuestos orgánicos persistentes en aves herbívoras (cisnes) y carnívoras (garzas) del área ?

**En relación a los MAMIFEROS ACUATICOS:**

Cuál es la distribución espacial y abundancia de los mamíferos acuáticos en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios ?

**Estudio 11:** Estado de la fauna de mamíferos acuáticos.

Cuáles son las relaciones espaciales y de abundancia entre especies nativas (huillines y coipos) e introducidas (visones) ?

**En relación al ESTADO DEL USO DEL SUELO ALREDEDOR DEL HUMEDAL:**

Como ha ido evolucionando la densidad de la población humana y las actividades económicas en el área de influencia del humedal y cuál es la proyección de las mismas ?

**Estudio 12:** Estado actual del uso del suelo en el área de influencia del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

Cuáles son las posibles amenazas derivadas de una mayor carga poblacional y de un incremento de las actividades económicas ? cual es la proyección de esta situación ?

Cuál ha sido la dinámica de cambios en el uso del suelo y cuál es la proyección de ésta ?

Cuáles son los usos actuales del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios y cuál es la proyección de los mismos ?

Cuál es el estado actual de los paisajes del humedal y cuáles deberían recuperarse y/o protegerse ?

**En relación a IDENTIFICACION DE AMENAZAS:**

Constituyen las actuales condiciones de calidad del agua en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, una amenaza para la vida acuática del área ?

**Estudio 13:** Uso de análisis de riesgo ecológico para identificación de amenazas.

**Nota:** los estudios 11, 12 y 13, entre otros, también dan cuenta de la identificación de amenazas.

#### En relación al CONOCIMIENTO ECOLOGICO LOCAL:

Qué significados - en general y para sus vidas y la de las comunidades - atribuyen los actores locales al humedal del río Cruces y sus ríos tributarios ?

**Estudio 14:** Conocimiento ecológico local.

Cuáles son los principales cambios que los actores locales perciben - en el agua, fauna y flora, asentamientos humanos, actividades productivas- que han ocurrido en el humedal ?

Cuáles, son para los actores locales, las amenazas para el humedal ?

Cómo se representan los actores locales en el desarrollo de diálogos con otros actores - como científicos y expertos institucionales – en relación a aspectos del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios?Cuál es su disposición y cuáles sus aprensiones para participar en este tipo de diálogos ?

---

#### En relación a SERVICIOS ECOSISTEMICOS:

Cuáles son los servicios ecosistémicos asociados al humedal del río Cruces y sus ríos tributarios ?

**Estudio 15:** Análisis de servicios ecosistémicos

Donde se ubican estos servicios ecosistémicos ?

Es posible valorar social y económicamente estos servicios ecosistémicos?

---

### Información ya existente a incluir en el diagnóstico

La información que se obtenga en el PDA 14-15, se integrará con la información contenida en otros estudios, tales como:

- Diagnóstico ambiental del humedal del río Cruces basado en la comparación de condiciones ambientales actuales e históricas: bases para su monitoreo y sustentabilidad (Convenio MMA & SEA & UACH).
- Recopilación y análisis de información en apoyo para la elaboración del anteproyecto de la norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia (Estudio CONAMA & UACH).

- Plan de vigilancia ambiental del humedal del río Cruces (CEA, entre 2007-2008).
- Medición de dioxinas y furanos, Celulosa Valdivia. (SGS Chile Ltda. Santiago, Abril 2008).
- Monitoreo sanitario de la ictiofauna del humedal río Cruces (Centro Regional de Estudios Ambientales, U. Católica de la Santísima Concepción, Julio 2008).
- Prospección del Huillin (*Lontra provocax*) en la zona media del río Cruces, provincia de Valdivia. (Corporación Terra Australis, Junio 2006).
- Monitoreo del Huillin (*Lontra provocax*) y su hábitat en la zona de influencia de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución Región de Los Ríos. (Jorge Oporto Barría, Febrero, 2009).
- Aproximación ecotoxicológica y evaluación de riesgo ecológico teórico en apoyo a la elaboración del anteproyecto de N.S.C.A. para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia, Región de Los Ríos. (U. Católica de Temuco, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Cs. Ambientales, Laboratorio de Ecotoxicología y Monitoreo Ambiental, Laboratorio de Limnología y Recursos Hídricos, Diciembre 2009).
- Evaluación de riesgo ecológico para el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter como apoyo a la elaboración del anteproyecto de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia, Región de Los Ríos. (U. Católica de Temuco, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Cs. Ambientales, Laboratorio de Ecotoxicología y Monitoreo Ambiental, Laboratorio de Limnología y Recursos Hídricos Septiembre, 2010).
- Evaluación de riesgo ecológico para el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter como apoyo a la elaboración del anteproyecto de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia, Región de Los Ríos. (U. Católica de Temuco, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Cs. Ambientales, Laboratorio de Ecotoxicología y Monitoreo Ambiental, Laboratorio de Limnología y Recursos Hídricos Diciembre, 2010).

- Evaluación de riesgo ecológico (Crónico) para el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter como apoyo a la elaboración del anteproyecto de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia, Región de Los Ríos. (U. Católica de Temuco Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Cs. Ambientales, Laboratorio de Ecotoxicología y Monitoreo Ambiental, Laboratorio de Limnología y Recursos Hídricos).
- Monitoreos ambientales periódicos que ARAUCO realiza en la porción limnética del río Cruces y superior del humedal (sector Fuerte San Luis).

### **Aspectos relevantes de esta propuesta**

A continuación se señalan puntos relevantes de esta propuesta:

- Con excepción de aguas subterráneas, el PDA 14-15 incluye todos los puntos sugeridos como componentes del diagnóstico por el CCS; estos son:
  - **Calidad del agua.**
  - **Calidad de sedimentos.**
  - **Estado de Fauna.**
  - **Estado de Flora.**
  - **Servicios ecosistémicos.**
  - **Identificación de amenazas (por ejemplo, cambios de uso de suelo, fauna introducida, etc.)**
  - **Régimen hidrológico.**
  - **Aguas subterráneas.**
- Se excluye en este programa de diagnóstico, la toma de muestras de aguas subterráneas y análisis de las mismas. Como parte del actual PDA, se solicitará a SERNAGEOMIN origine un informe con los datos con que cuenta, incluyendo los mapas con ubicaciones georeferenciadas de los pozos estudiados y las tablas respectivas con la información de las características físicas y químicas de esas aguas. Esos da-

tos permitirán contrastar la información de calidad del agua superficial, con la de las napas subterráneas para evaluar eventuales conexiones.

- El equipo de trabajo del PDA incluye investigadores de cinco Facultades de la UACH (Facultad de Ciencias, Facultad de Ciencias Veterinarias, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agrarias y Facultad de Medicina), además de académicos de las Universidades de Concepción y Santo Tomás, Santiago. Se contará así con toda la capacidad técnica y operativa requerida, por ejemplo en cuanto a laboratorios acreditados para análisis sanitarios de peces (Laboratorio de Biotecnología y Patología Acuática de la Universidad Austral de Chile), agua, sedimentos y tejidos biológicos (Laboratorio de Oceanografía Química, Universidad de Concepción) .
- Los estudios diseñados como parte de esta propuesta incluyen inquietudes ciudadanas, que nacen en el entorno del humedal (por ejemplo, el estado actual de la fauna de anfibios y mamíferos acuáticos).
- El inicio del presente diagnóstico debiera ser a la brevedad posible, a fin de captar toda la situación ambiental que pueda derivar de la fuerte sequía que diferentes estamentos han discutido o pronosticado para el presente período estival (*e.g.* [www.latercera.com](http://www.latercera.com), 13 de diciembre 2013). Se está ante la oportunidad única de evaluar por ejemplo, la concentración y dilución de elementos persistentes en el agua en una condición natural de bajo caudal y no derivada de actividades de origen antropogénico.
- El pronto inicio del PDA 14-15 asegura la continuidad de la base de datos del diagnóstico llevado a cabo durante el año 2012 y parte del 2013 y contribuirá a dar una integridad temporal a los mismos. Esto es fundamental para integrar e interpretar de modo sistémico, todos los datos recolectados para el área del humedal

del río Cruces y sus ríos tributarios. Los resultados así tratados se integrarán además con los datos periódicos que obtiene ARAUCO en la porción superior o límnic del río Cruces (sector planta ARAUCO a sector Fuerte San Luis de Alba). Las bases de datos así integradas y analizadas a través de robustos análisis estadísticos, serán claves para el diseño definitivo de los monitoreos del humedal.

- Más aun, el pronto inicio de los estudios del PDA 14-15 asegura la obtención de datos y conocimiento acerca del estado actual de componentes biológicos del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, hoy prácticamente desconocidos como es el caso de la ictiofauna. Tal falta de conocimientos es uno de los factores que más incertidumbre produce cuando ocurren fenómenos no esperados, como la mortandad de peces observada en la porción limnética del río Cruces el día 18 de enero del presente año.

- El programa de estudios aquí propuesto es un programa de diagnóstico y solo eso. Tal como orientado por el CCS, este programa apunta a caracterizar el estado actual del humedal, a dimensionar el alcance espacial y temporal de la afección que ha ocurrido en el área y a orientar el futuro programa de monitoreo. Por lo tanto, no es ni un programa de investigaciones específicas ni puede esperarse del mismo y en el plazo de un año, que los resultados del programa resulten en un plan de gestión y/o manejo del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. Las investigaciones específicas y la generación de un Plan de Gestión Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, serán parte de los ejes científicos y de planificación/gestión del Centro de Investigación de Humedales, respectivamente.

#### IV. ACTIVIDADES Y ANALISIS DEL DIAGNOSTICO

##### En relación a Calidad del agua (Estudio 1):

Por **Calidad del agua** se entiende el análisis de:

- Temperatura, pH, conductividad y transparencia.
- Concentración de oxígeno disuelto, demanda bioquímica y química de oxígeno.
- Concentración de sólidos disueltos y suspendidos particulados.
- Concentración de carbono orgánico total.
- Concentración de nutrientes (fósforo total, fósforo soluble, nitrito, nitrato, amonio y nitrógeno total).
- Concentración de bacterias coliformes totales y fecales.
- Concentración de sulfatos y cloruros.
- Concentración de metales pesados (fracción disuelta y particulada) (hierro, aluminio, manganeso, cobre, cadmio, plomo, zinc, mercurio y arsénico).
- Concentración de compuestos orgánicos persistentes incluyendo ácidos grasos, ácidos resínicos y compuestos Organo-Halogenados Adsorbibles (AOX).
- Medición de dioxinas y furanos (17 congéneres incluidos en el Convenio de Estocolmo de 2001).

***Nota:** se sugiere analizar en principio muestras de siete de las catorce estaciones para evaluación de la eventual presencia de dioxinas y furanos (e.g., estaciones 1, 2, 3, 6, 8, 10 y 12). Si se encontrasen indicios de tales compuestos en las muestras de esas estaciones, se analizarán también las de las siete restantes. Estas últimas habrán sido mantenidas acorde protocolos estándares para este tipo de procedimientos.*

Los muestreos destinados a análisis de calidad del agua se realizarán en los 14 puntos que se indican en la Tabla 2 y Figura 3, a través de tres campañas de muestreo durante un año las cuales se distribuirán de la siguiente manera:

- Un primer muestreo durante la época de menor caudal (fines de verano - principios de otoño),
- Un segundo muestreo al inicio del período de lluvias y

- Un tercer muestreo durante la época de mayor caudal (fines de invierno).

Se realizará un completo análisis de la variabilidad temporal de largo plazo en los datos de caudal del río Cruces (DGA) y pluviometría del área (fuente: UACH, últimos 50 años) a fin de seleccionar los períodos a realizar el segundo y tercer muestreo.

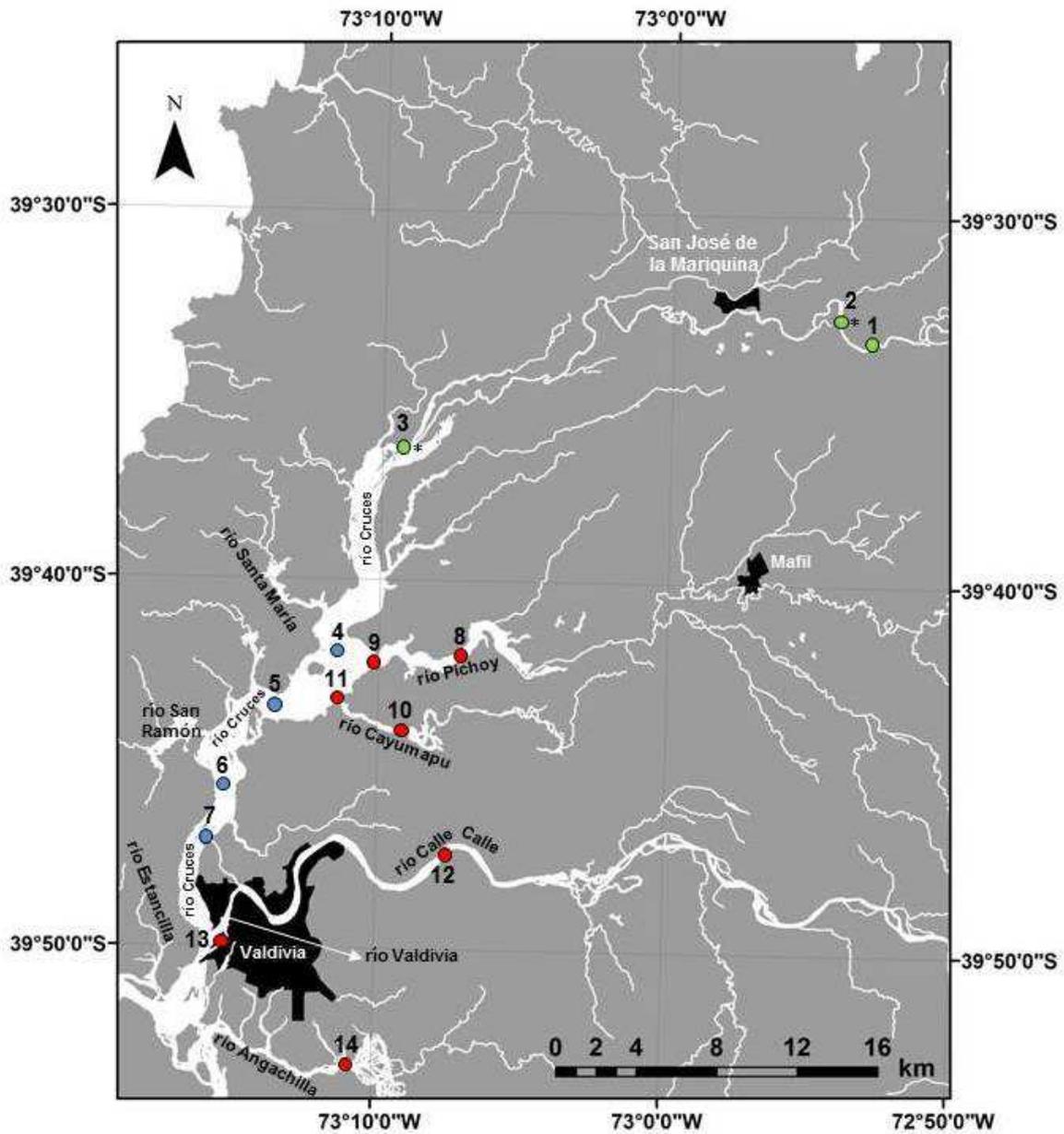
Las muestras de agua se recolectarán durante un tipo de marea (*e.g.* bajando), con el objetivo de evitar la mezcla de aguas con diferentes características físico - químicas. Este diseño está relacionado a la naturaleza estuarial del humedal del río Cruces, sus ríos tributarios y los ríos Calle Calle, Valdivia y Angachilla. La estación 3 se ubica en la zona que corresponde aproximadamente al límite superior o cabezal del área estuarial del humedal (Fig. 3). Las muestras se obtendrán a 0,5 m bajo la superficie del agua y no de manera estratificada, ya que en general la columna de agua del área de estudio presenta una estructura vertical homogénea en cuanto a varias variables; por ejemplo, temperatura, pH y conductividad.

Las estaciones de muestreo han sido seleccionados de modo tal, que permitan:

- Evaluar eventuales diferencias en calidad de agua del río Cruces *versus* la de algunos de los ríos tributarios del humedal (Pichoy y Cayumapu) y de áreas alejadas del mismo (ríos Calle Calle, Valdivia y Angachilla) que serán utilizadas como controles, ya que están ubicadas fuera del área que fue directamente impactada por los cambios ambientales del año 2004 (ver Tabla 2 y Figura 3).
- Realizar comparaciones con series de datos históricos provenientes, entre otros de la DGA, del Programa de Observación del Ambiente Litoral (P.O.A.L., DIRECTEMAR, Armada de Chile) y de los monitoreos periódicos que ARAUCO realiza en la porción limnética del río Cruces (estaciones cercanas a Rucaco) y en el sector del Fuerte San Luis (ver Tabla 2).

**Tabla 2.** Zonas, estaciones y sectores de muestreo, períodos estacionales, número de réplicas, subtotal y número total de muestras para el muestreo de calidad de agua del área de estudio. Desembocadura se refiere a la zona cercana a la confluencia de un río tributario con el río Cruces. Ver Figura 2 para ubicación de las estaciones. En las estaciones 1, 2 y 3, ARAUCO realiza monitoreos de forma periódica, \* = sitios de muestreo de agua DGA, \*\* = sitios de muestreo de agua P.O.A.L. (Programa de Observación del Ambiente Litoral, DIRECTEMAR, Armada de Chile).

zonas	estaciones	períodos estacionales	réplicas	subtotal
Porción superior del río Cruces (sector límnic)	1 (sector Ciruelos)	3	2	6
	2 (sector Rucaco) *	3	2	6
Eje central del río Cruces (sector estuarial)	3 (sector Fuerte San Luis) *	3	2	6
	4 (sector Santa Clara)**	3	2	6
	5 (sector Tres Bocas) **	3	2	6
	6 (sector Punucapa) **	3	2	6
	7 (sector Cruces - Cau Cau)**	3	2	6
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)	8 (río Pichoy interior)	3	2	6
	9 (desembocadura río Pichoy)	3	2	6
	10 (río Cayumapu interior)	3	2	6
	11 (desembocadura río Cayumapu)	3	2	6
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	12 (río Calle Calle, sector alejado del área urbana actual)	3	2	6
	13 (río Valdivia, sector las Mulatas)	3	2	6
	14 (río Angachilla)	3	2	6
<b>total de muestras</b>				<b>84</b>



**Figura 3.** Ubicación de los sitios de muestreo para análisis de calidad del agua en el área de estudio. Los círculos en verde (estaciones 1, 2 y 3) representan sitios donde ARAUCO realiza monitoreos periódicos de calidad del agua; los círculos en verde y asterisco son sitios de muestreo de agua de la DGA, a la vez que los círculos azules son sitios de muestreo del P.O.A.L.

Las metodologías de mediciones *in situ* y análisis de laboratorio para estudios de calidad del agua son:

- Temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto: uso de sonda multiparamétrica para mediciones *in situ* (Unidades: °C, unidades de pH, umS/cm y mg/L, respectivamente).
- Transparencia: uso de Disco Secchi para mediciones *in situ* (Unidad: m).
- Oxígeno disuelto: titulación por Método de Winkler (A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater Analysis, First edition. Timothy R Parsons; Yoshiaki Maita; Carol M Lalli, 1984). Se usará este método (aparte de la sonda multiparamétrica) tanto para medición *in situ* como para calibración de los equipos
- Demanda bioquímica (DBO): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. Method 5210 B.
- Demanda química de oxígeno (DQO): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. Method 5220.
- Sólidos disueltos y suspendidos particulados: método gravimétrico (Unidad: mg/L).
- Carbono orgánico total: método de combustión catalítica (Unidad: % C).
- Nutrientes: (fósforo total, fósforo soluble, nitrito, nitrato, amonio): mediante absorción molecular (Unidades: mg/L, amonio; umol/L).
- Bacterias coliformes totales y fecales: metodología de cultivo y recuento de colonias (NMP/100 ml).
- Sulfatos: Gravimetría. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 4500-SO42- C y/o Cromatografía Iónica. EPA Method 300.0 (Nota: se usan los dos métodos dependiendo del rango de concentración).
- Cloruros: Volumetría. NCh2313/32.Of199 y/o Cromatografía Iónica. EPA Method 300.0. Nota: se usan los dos métodos dependiendo del rango de concentración

- Metales pesados: i) separación de la fracción disuelta de la particulada mediante filtración de las muestras con una membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro, y ii) cuantificación mediante espectroscopia de masa de plasma inductivamente acoplado (ICP-MS). El mercurio se analizará por espectrometría de absorción atómica de vapor frío (Unidades: metales disueltos:  $\mu\text{g/L}$  y metales particulados:  $\mu\text{g/g}$ ).
- Ácidos grasos: cromatografía gaseosa con detección de masa (Unidad:  $\mu\text{g/L}$ ).
- Ácidos resínicos: cromatografía gaseosa con detección de masa (Unidad:  $\mu\text{g/L}$ ).
- Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX): titulación microcoulombimétrica con adsorción en carbono activado (Unidad:  $\text{mg/L}$ ).
- Dioxinas y furanos: Cromatografía gaseosa de alta resolución con detección de masa de alta resolución (HRGC/HRMS) y preparación automática de muestras (FMS) utilizando Extracción en Fase Sólida (SPE) (Unidad:  $\text{ng/L}$ ).

#### En relación a Calidad de sedimentos (Estudio 1):

Por **calidad de sedimentos** se entiende el análisis de:

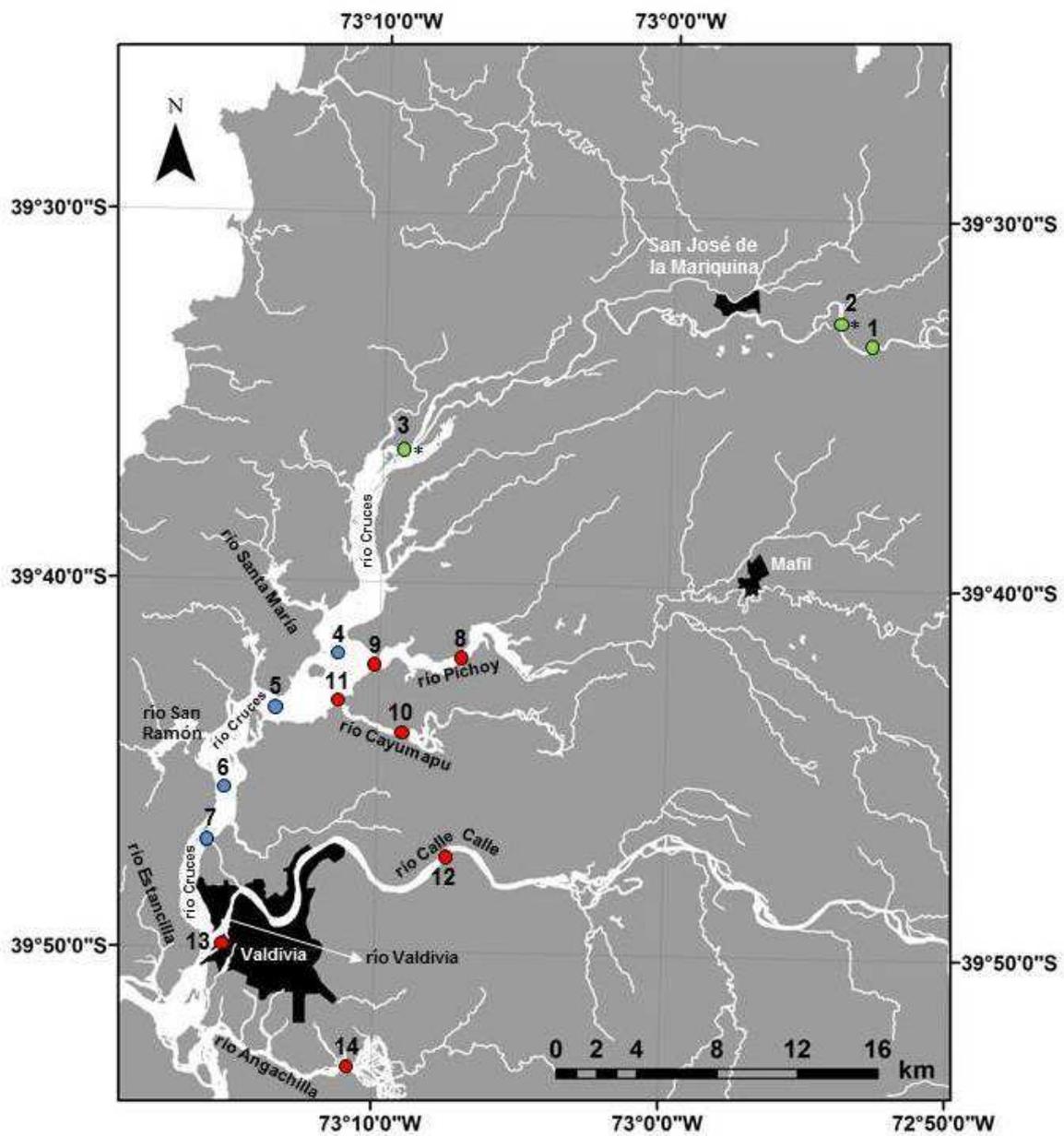
- Textura, granulometría y contenido de materia orgánica y carbono orgánico total.
- Mediciones de redox (potencial óxido - reducción).
- Concentración de metales pesados (hierro, aluminio, manganeso, cobre, cadmio, plomo, zinc, mercurio y arsénico) medida con ICP - ms ("Inductive Coupling Plasma" con detector de masas).
- Concentración de compuestos orgánicos persistentes incluyendo ácidos grasos, ácidos resínicos, Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX) y Compuestos órgano-Halogenados Extraíbles (EOX).
- Medición de dioxinas y furanos (17 congéneres incluidos en el Convenio de Estocolmo de 1972).

**Nota:** se sugiere analizar en principio muestras de siete de las catorce estaciones para evaluación de presencia de dioxinas y furanos (e.g., estaciones 1, 2, 3, 6, 8, 10 y 12). Si se encontrasen indicios de tales compuestos en las muestras de esas estaciones, se analizarán también las de las siete restantes. Estas últimas habrán sido mantenidas acorde protocolos estándares para este tipo de procedimientos.

Los muestreos destinados al análisis de calidad de sedimentos se realizarán en las mismas 14 estaciones seleccionadas para estudios de calidad del agua (ver Fig. 3) y durante dos períodos del año (Tabla 3, Fig. 4); en este caso, a fines del verano y del invierno y que corresponden a los períodos de menor y mayor caudal hídrico. Es en estos períodos cuando probablemente ocurren las mayores depositaciones y resuspensiones de sedimento y por lo tanto, los períodos más contrastantes del año en cuanto a calidad de sedimento se refiere.

**Tabla 3.** Zonas, estaciones y sectores de muestreo, períodos estacionales, número de réplicas, subtotal y número total de muestras para el muestreo de calidad de sedimentos del área de estudio. Ver Figura 4 para ubicación de las estaciones. \*\* = sitios de muestreo de sedimentos P.O.A.L. (Programa de Observación del Ambiente Litoral, DIRECTEMAR, Armada de Chile).

zonas	estaciones	períodos estacionales	réplicas	subtotal
Porción superior del río Cruces (sector límnic)	1 (sector Ciruelos)	2	2	4
	2 (sector Rucaco)	2	2	4
Eje central del río Cruces (sector estuarial)	3 (sector Fuerte San Luis)	2	2	4
	4 (sector Santa Clara) **	2	2	4
	5 (sector Tres Bocas) **	2	2	4
	6 (sector Punucapa) **	2	2	4
	7 (sector Cruces - Cau Cau) **	2	2	4
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)	8 (río Pichoy interior)	2	2	4
	9 (desembocadura río Pichoy)	2	2	4
	10 (río Cayumapu interior)	2	2	4
	11 (desembocadura río Cayumapu)	2	2	4
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	12 (río Calle Calle, sector alejado del área urbana actual)	2	2	4
	13 (río Valdivia, sector Las Mulatas)	2	2	4
	14 (río Angachilla)	2	2	4
		<b>total de muestras</b>		<b>56</b>

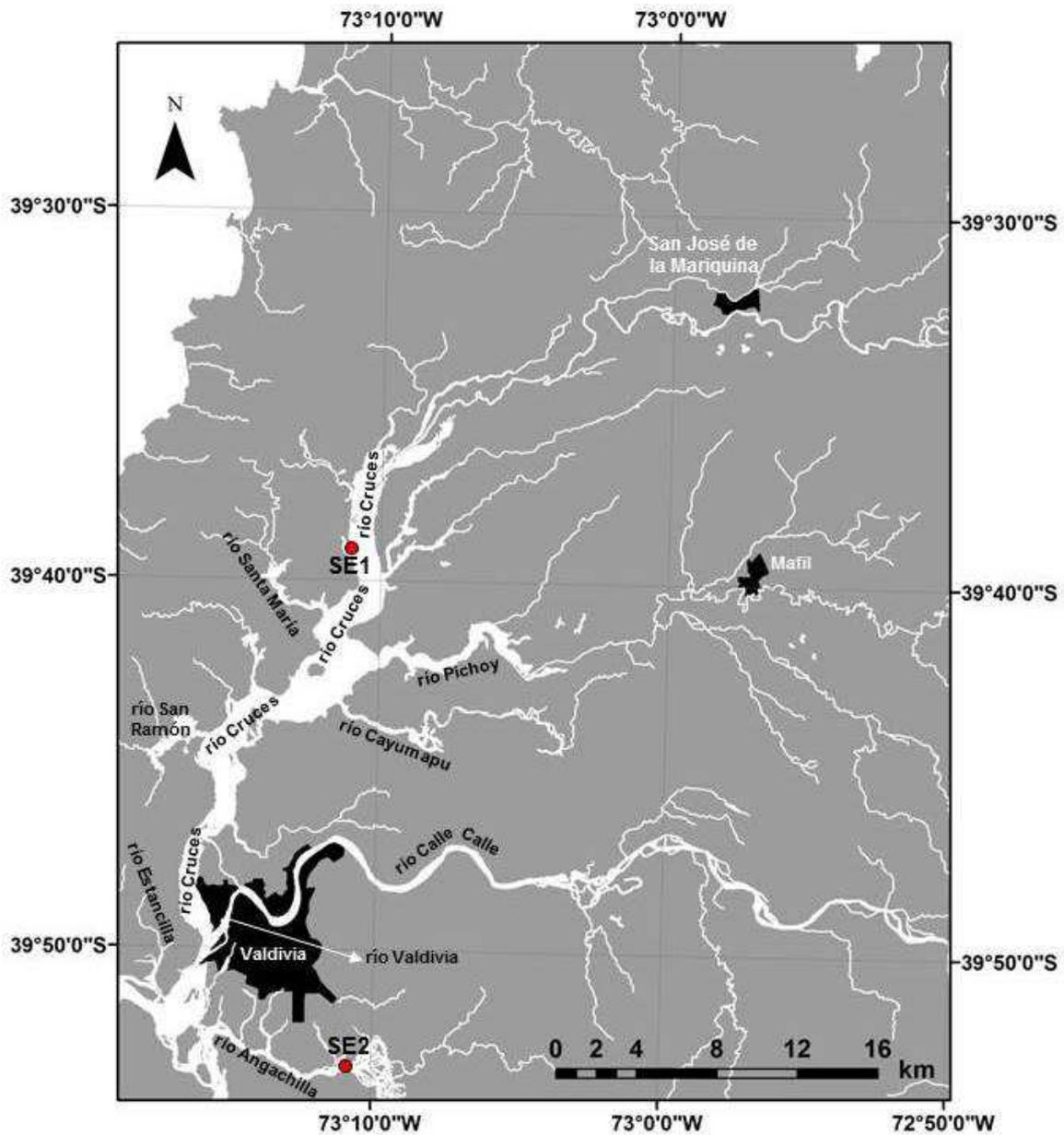


**Figura 4.** Ubicación de los sitios de muestreo para análisis de calidad de sedimentos en el área de estudio. Los círculos azules son sitios de muestreo del P.O.A.L.

Además de los muestreos anteriormente señalados, se analizará a fines del actual período estival la distribución vertical de las concentraciones de metales pesados en dos ambientes de profundidades someras; uno ubicado en la porción estuarial superior del río Cruces y otro en el río Angachilla (Fig. 5).

El objetivo de este estudio, es evaluar el patrón de distribución vertical de las concentraciones de metales pesados en el sedimento y su eventual relación con la ubicación de los tres sitios de estudio; uno de ellos (porción superior del humedal del río Cruces) ubicado en la zona directamente afectada por los cambios ambientales del año 2004 y otro (Angachilla) ubicado fuera de esa zona.

Las concentraciones de metales pesados serán analizadas como indicado más arriba; se utilizarán además técnicas isotópicas e interpretaciones, acorde los resultados que se originen del uso de las mismas. Se evaluará también el eventual efecto de la macrofauna bentónica como elemento de perturbación biogénica, lo que puede resultar en perturbación de los estratos sedimentarios y por ende en estimaciones erróneas para el cálculo de las edades de los estratos y estimaciones de fechas de depositación.



**Figura 5.** Ubicación de los dos sitios de estudio seleccionados para el estudio puntual de distribución vertical de la concentración de metales pesados en la porción superior del humedal del río Cruces (SE1) y río Angachilla (SE2). SE = sedimentos estratificados.

Las metodologías de obtención de las muestras y análisis de laboratorio son:

- Obtención de las muestras: mediante dragas o toma - testigos de sedimento en las estaciones 1 a 14 (Tabla 3) y con un tubo de PVC de 10 cm de diámetro enterrado a 20 cm de profundidad en los dos ambientes someros donde se analice la distribución vertical de las concentraciones de metales pesados (Fig. 5). Toma de radiografías y posterior extrusión de los sedimentos incluidos en los tubos de PVC anteriormente mencionados y posterior recolección de muestras sedimentarias de 1 cm de espesor y numeradas del 1 (lámina superior o más joven) al 20 (lámina más profunda o de mayor edad).
- Textura y granulometría: textura mediante metodología de tamizado en húmedo (Anderson *et al.* 1981) y granulometría de la arena mediante de velocidad de decantación de las partículas (Emery, 1938) y método de momentos (Seward-Thompson & Hails, 1973) (Unidades: % para análisis texturales y micrones para granulometría).
- Materia orgánica: calcinación y gravimetría (Unidad: % de materia orgánica por clase textural).
- Carbono orgánico total: combustión catalítica (Unidad: % C).
- Potencial redox: sonda con electrodo para medición de potencial óxido- reducción.
- Metales pesados: mediante espectroscopia de emisión óptica de plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) (Unidad: ug/g). El mercurio se analizará por espectrometría de absorción atómica de vapor frío (Unidad: ug/g).
- Ácidos grasos (en sedimentos de estaciones 1 a 15): cromatografía gaseosa con detección de masa (Unidad: ug/g)
- Ácidos resínicos (en sedimentos de estaciones 1 a 15): .cromatografía gaseosa con detección de masa (Unidad: ug/g).

- Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX) (en sedimentos de estaciones 1 a 15): titulación microcoulombimétrica con adsorción en carbono activado (Unidad: mg/kg)
- Compuestos Órgano-Halogenados Extraíbles (EOX) (en sedimentos de estaciones 1 a 15): titulación microcoulombimétrica con extracción en hexano . (Unidad: mg/kg)
- Dioxinas y furanos (en sedimentos de estaciones 1 a 14): Cromatografía gaseosa de alta resolución con detección de masa de alta resolución (HRGC/HRMS) y preparación automática de muestras (FMS) utilizando Extracción Presurizada Líquida (PLE) (Unidad: ng/g)
- Análisis de isótopos: si los testigos de sedimentos para análisis de concentraciones de metales pesados acorde la profundidad, no muestran evidencias de perturbación biogénica por efecto de la macrofauna, se emplearán análisis isotópicos con  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{206}\text{Pb}$  . Aun cuando la capa que identifica el terremoto de 1960 es fácilmente detectable, resulta apropiado poder determinar si la tasa de sedimentación (*e.g.* mm año<sup>-1</sup>) se ha mantenido constante desde 1960 o si ha variado a través del tiempo. Esta información se relacionará con la concentración de metales pesados, lo que permitirá originar parámetros donde la concentración (*e.g.* mg gr<sup>-1</sup>) puede ser expresada por unidades de tiempo (concentración año<sup>-1</sup>). Este cálculo se puede hacer *a posteriori* incluso para muestras extraídas varios años antes, ya que el análisis es efectuado siempre en porciones centimétricas y lo que se propone ahora es evaluar la rapidez de la depositación de sedimentos con los eventuales contaminantes asociados.

Los análisis estadísticos a realizar con los datos de calidad de agua y sedimento, incluyen las comparaciones que se indican en la Tabla 4. Se muestran dos tipos de comparaciones: espaciales, o aquellas referidas a comparaciones entre grupo de estaciones dentro del mismo período estacional y temporales, o aquellas donde se comparan los mismos grupos de estaciones entre períodos estacionales.

**Tabla 4.** Tipos de comparaciones a realizar con los resultados de los estudios de calidad del agua y sedimentos.

Tipos de comparaciones:	Estaciones que se comparan:
<p><b>Espacial:</b> entre grupos de estaciones para cada período de muestreo (período de menor caudal, inicio de las lluvias y período de mayor caudal para agua y períodos de menor y mayor caudal para el sedimento).</p>	<p>1 y 2 (limnéticas del río Cruces) vs. 3, 4, 5, 6 y 7 (estuariales del eje central río Cruces) vs. 8, 9, 10 y 11 (estuariales de ríos tributarios al Cruces) vs. 12, 13 y 14 (ríos Calle Calle, Valdivia y Angachilla) dentro de cada período de muestreo.</p>
<p><b>Temporal:</b> entre las mismas estaciones en diferentes períodos de muestreo (período de menor caudal, inicio de las lluvias y período de mayor caudal para agua y períodos de menor y mayor caudal para el sedimento).</p>	<p>1 y 2 de período de menor caudal vs. 1 y 2 de período inicio de las lluvias vs. 1 y 2 de período de mayor caudal. Para sedimentos se comparan solo dos períodos (menor y mayor caudal).</p>
	<p>3, 4, 5, 6 y 7 de período de menor caudal vs. 3, 4, 5, 6 y 7 de período inicio de las lluvias vs. 3, 4, 5, 6 y 7 de período de mayor caudal. Para sedimentos se comparan solo dos períodos (menor y mayor caudal).</p>
	<p>8, 9, 10 y 11 de período de menor caudal vs. 8, 9, 10 y 11 de período inicio de las lluvias vs. 8, 9, 10 y 11 de período de mayor caudal. Para sedimentos se comparan solo dos períodos (menor y mayor caudal).</p>
	<p>12, 13 y 14 de período de menor caudal vs. 12, 13 y 14 de período inicio de las lluvias vs. 12, 13 y 14 de período de mayor caudal. Para sedimentos se comparan solo dos períodos (menor y mayor caudal).</p>

### **Consideraciones metodológicas para enfrentar problemas en la inferencia causal en diseños de muestreos de campo y análisis estadísticos**

El diseño de muestreo del PDA 14-15 y en cuanto a calidad del agua y sedimentos, considera la toma de datos en: i) diferentes áreas del humedal del río Cruces, sus ríos tributarios y fuera de estos (14 sitios), y ii) diferentes periodos temporales con regímenes de precipitaciones y caudales hídricos contrastantes (3 períodos). Para cada estación y período de muestreo, se considera un nivel de replicación de 2 muestras, lo cual genera un total de 28 muestras de agua y 28 de sedimentos por cada período de muestreo, lo cual se considera adecuado teniendo en consideración las restricciones logísticas que implica la recolección de datos. De ahí que los muestreos diseñados para evaluar calidad del agua y sedimentos representan un compromiso entre nivel de replicación (*i.e.* mucha información que podría ser redundante para un determinado punto de estudio) y una mayor cobertura o extensión espacial de la distribución de las estaciones de muestreo, incluyendo sitios localizados fuera del humedal. Esto es definido como el problema del grano y extensión adecuados que debe tener todo estudio donde se involucran sistemas naturales (Wiens 1989, Legendre & Legendre 1998). En general, cuando se trabaja en estudios de campo, es necesario conocer la correlación espacial de un determinado patrón o proceso antes de decidir donde establecer las estaciones de muestreo (Legendre 1993).

En el presente diseño de muestreo, se siguen directrices generadas en relación a áreas contrastantes del humedal y a las escalas de correlación de procesos que determinan la variabilidad espacial en por ejemplo, la calidad del agua. Lagos *et al.* (2008 a), al estudiar la variabilidad espacial de procesos que ocurren a escala del humedal, determinaron que las concentraciones de sólidos suspendidos y turbidez del río Cruces, se diferencian significativamente entre estaciones separadas por más de diez kilómetros, lo cual implica que el diseño de muestreo para el presente programa de diagnóstico, considera la escala natural de los patrones y procesos que ocurren en el área de estudio, enfoque que es consistente con la teoría de ecología espacial (véase por ejemplo, Bjornstad *et al.* 1999, Lagos *et al.* 2008 b).

Para realizar las comparaciones de los datos de calidad del agua y sedimentos indicadas en la Tabla 3, se evaluará la distribución de cada variable (continua, discreta, nominal, etc.) por medio de tablas y análisis en el dominio de la frecuencia (Zar 1999). Para aquellos casos que en que se cumplan los supuestos de independencia, normalidad y heterocedasticidad, se utilizarán análisis de varianza para comparar entre grupos de estaciones (comparación de tipo espacial en Tabla 4) y entre periodos estacionales (comparación de tipo temporal en Tabla 4).

Para identificar que estaciones o períodos son los responsables de las diferencias entre las variables, se utilizarán pruebas de comparaciones *a posteriori* como la prueba de Tukey o Bonferroni (Sokal & Roff 1991). En los casos que las variables a comparar en el espacio - tiempo, no cumplan los supuestos indicados anteriormente, se realizarán comparaciones pareadas no paramétricas (*e.g.* Kuskall-Wallis). El nivel de significancia en todas estas pruebas estadísticas será fijada en 0,05. Se utilizará la corrección de Bonferroni cuando las comparaciones *a posteriori* y/o no paramétricas sean realizadas sobre variables con más de dos niveles de variación. Se explorará la posibilidad de realizar análisis multivariados como MANOVA, Análisis Discriminante y Análisis de Lamda de Wilks; (Tabachnick & Fidell 1989, McCune & Meffort 1999, Freckleton 2002), para evaluar si los patrones de variación revelados por la integración de las variables reflejan diferencias entre grupos de estaciones o períodos estacionales caracterizados por diferentes caudales hídricos.

## Referencias

- Anderson, F., L. Black, L. Mayer & L. Watling (1981). A temporal and spatial study of mudflat texture. *North Eastern Geology* 3: 184-196.
- Bjørnstad ON, Ims RA, Lambin X (1999) Spatial population dynamics: analyzing patterns and processes of population synchrony. *Trends Ecol Evol* 14:427–432.
- Emery, K.O. (1938). Rapid method of mechanical analysis of sand. *Journal of Sedimentary Petrology* 8:105-111.
- Freckleton, R. P. 2002. On the misuse of residuals in ecology: regression of residuals vs. multiple regression. *Journal of Animal Ecology* 71:542–545.

Lagos, N., Paolini, P., Jaramillo, E., Lovengreen, Ch., Duarte, C. & Contreras, H. (2008 a). Environmental processes, water quality degradation, and decline of waterbird populations in the río cruces wetland, Chile. *Wetlands* 28: 938-950.

Lagos N.A., Castilla J.C. and Broitman B.R. (2008 b) Spatial environmental correlates of intertidal recruitment: a test using barnacles in northern Chile. *Ecological Monographs* 78, 245–261.

Legendre, P. 1993. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? *Ecology* 74:1659–1673.

Legendre P, Legendre L (1998) *Numerical ecology*, 2nd English edn. Elsevier Science, Amsterdam.

McCune B, Meffort MJ (1999) *PC-ORD multivariate analysis of ecological data*, Version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, OR.

Seward-Thompson, B. & J. Hails. 1973. An appraisal on the computation of statistical parameters in grain size analyses. *Sedimentology* 11: 83-98.

Sokal RR, Rohlf FJ (1991) *Biometry*, 2nd edn. Freeman Press, San Francisco, CA

Tabachnik, B., and L. Fidell. 1989. *Using multivariate statistics*. Harper Collins, New York, New York, USA.

Wiens J (1989) Spatial scaling in ecology. *Funct Ecol* 3:385 – 397.

Zar JH (1999) *Biostatistical analysis*, 3rd edn. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

### **En relación a Condiciones Hidrográficas (estudio 2):**

Por **condiciones hidrográficas** se entiende el análisis de:

- Dirección y velocidad de corrientes, mediciones de salinidad y temperatura.
- Mediciones de variabilidad en altura de mareas.
- Concentración de sólidos suspendidos particulados.
- Concentración de metales pesados (fracción disuelta y suspendida) (hierro, aluminio, manganeso, cobre, cadmio, plomo, zinc, mercurio y arsénico) en diferentes períodos mareales (marea subiendo y marea bajando) y medida con ICP - ms (“Inductive Coupling Plasma” con detector de masas). Estas mediciones son independientes de las que se realicen para evaluar calidad del agua, ya que estas se toma-

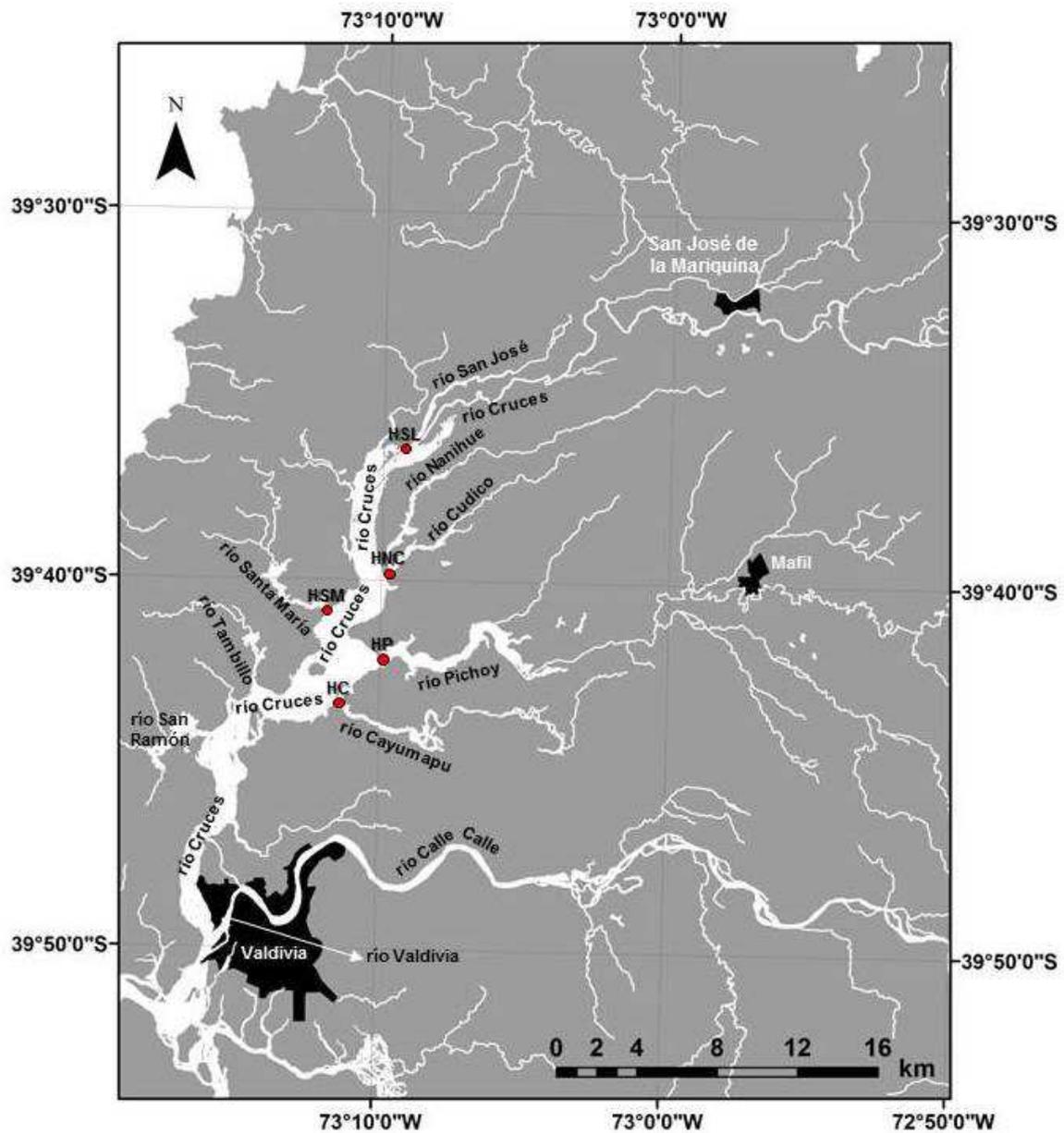
rán durante el máximo de la marea llenante y vaciante, a fin de evaluar intercambio de elementos conservativos en un determinado punto y acorde el ciclo mareal.

Los muestreos destinados al estudio de las condiciones hidrográficas se realizarán bajo las siguientes condiciones:

- Durante la época de menor caudal (marzo-abril).
- Durante marea de sicigia.
- Durante un período de 12 horas, el cual será de noche debido a que en la misma es cuando ocurren las mayores velocidades de corrientes.

Los sitios de muestreo serán el extremo norte del humedal o sector Fuerte San Luis de Alba (estación **HSL**) y las desembocaduras de los ríos Nanihue - Cudico, Pichoy, Santa María y Cayumapu (estaciones **HNC**, **HP**, **HSM** y **HC**, respectivamente; Fig. 6). Se obtendrán muestras replicadas para análisis de sólidos suspendidos particulados y metales pesados en los extremos del ciclo mareal (*i.e.* marea subiendo y marea bajando).

Los resultados a obtener permitirán conocer la variabilidad en la extensión de la onda mareal en el cabezal del río Cruces y ríos tributarios del mismo, además de la variabilidad en la magnitud del caudal de las aguas con el objetivo de conocer la capacidad de transporte, dispersión y dilución de elementos conservativos (*e.g.* metales pesados) en el humedal en su conjunto.



**Figura 6.** Ubicación de los sitios de muestreo para análisis condiciones hidrográficas en el área de estudio (cf. Tabla 1). **HSL** = hidrografía río Cruces, sector Fuerte San Luis, **HNC** = hidrografía confluencia de ríos Nanihue y Cudico, **HSM** = hidrografía río Santa María, **HP** = hidrografía río Pichoy, **HC** = hidrografía río Cayumapu.

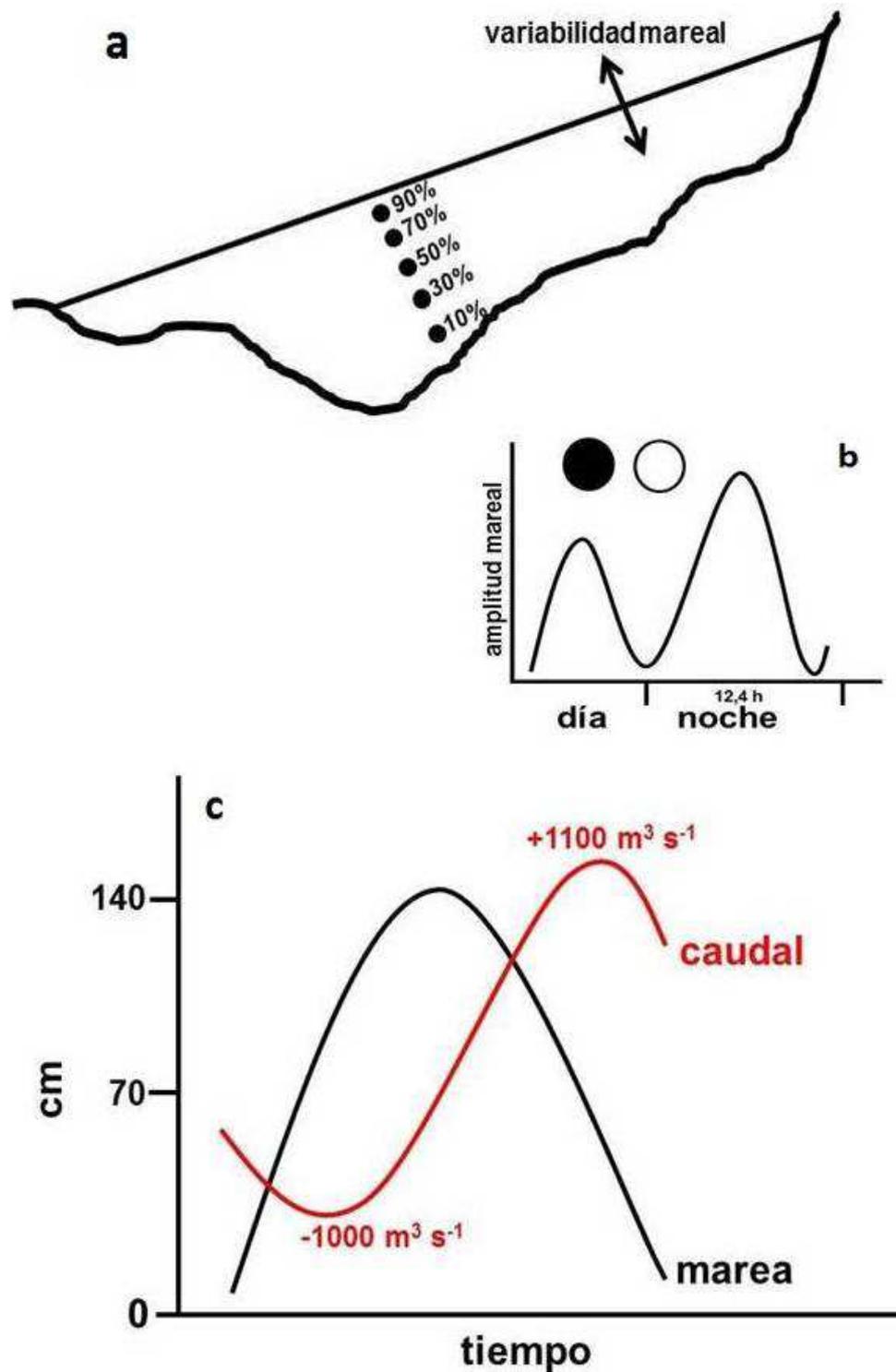
En los estuarios no existe una relación directa y lineal entre la altura del espejo de agua y el caudal (como ocurre en los ríos); este último puede estar dirigido hacia la boca u

borde oceánico (caudales positivos) o hacia la cabeza o extremo continental (caudales negativos). La mayor parte del flujo de agua está determinado por el efecto de la marea, la que siempre tiene mayor magnitud o amplitud durante luna nueva o llena (sicigia); para el caso de la costa de Chile la marea también tiene mayor magnitud durante la noche. A modo de ejemplo, el río Cruces puede tener una caudal de  $40\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ , pero el flujo de agua en el estuario puede ser de hasta  $1000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Para medir las velocidades y por ende los caudales, es necesario conocer (Fig. 7):

- El perfil batimétrico (profundidades) en una sección perpendicular al canal (Fig. 7a).
- La variación de marea en un ciclo completo (12,4 h) (Fig. 7b).
- La velocidad y dirección de la corriente a profundidades proporcionales (10, 30, 50, 70 y 90%) y a intervalos regulares de 45 minutos durante todo un ciclo mareal (Fig. 7a).

Posteriormente y con ayuda del software “Residual” se calcula la variabilidad del caudal y su relación con la onda de marea (Fig. 7c). Como esta se deforma durante el ingreso a aguas someras, el tiempo en que la marea sube o llenante es corto (aproximadamente 2 - 3 horas), mientras que la duración de la marea que baja o vaciante es mayor (8 - 9 horas). Debido a que toda el agua que pasa por una sección del estuario durante la llenante debe salir durante la vaciante, las velocidades de la corriente son mayores en llenante que en vaciante. Esto origina una acumulación, en dirección de la cabeza o porción superior del humedal, de cualquier sustancia transportada en forma conservativa por la corriente.



**Figura 7.** a) Esquema de posiciones para realizar mediciones de corriente, expresadas en porcentajes de la profundidad total de la columna de agua al momento de medir considerando la variabilidad en altura de la marea, b) variabilidad mareal semi-diurna de la onda de marea en una fase de sicigia (mareas que ocurren con luna llena y luna nueva).

**En relación a Estado actual de la flora:**

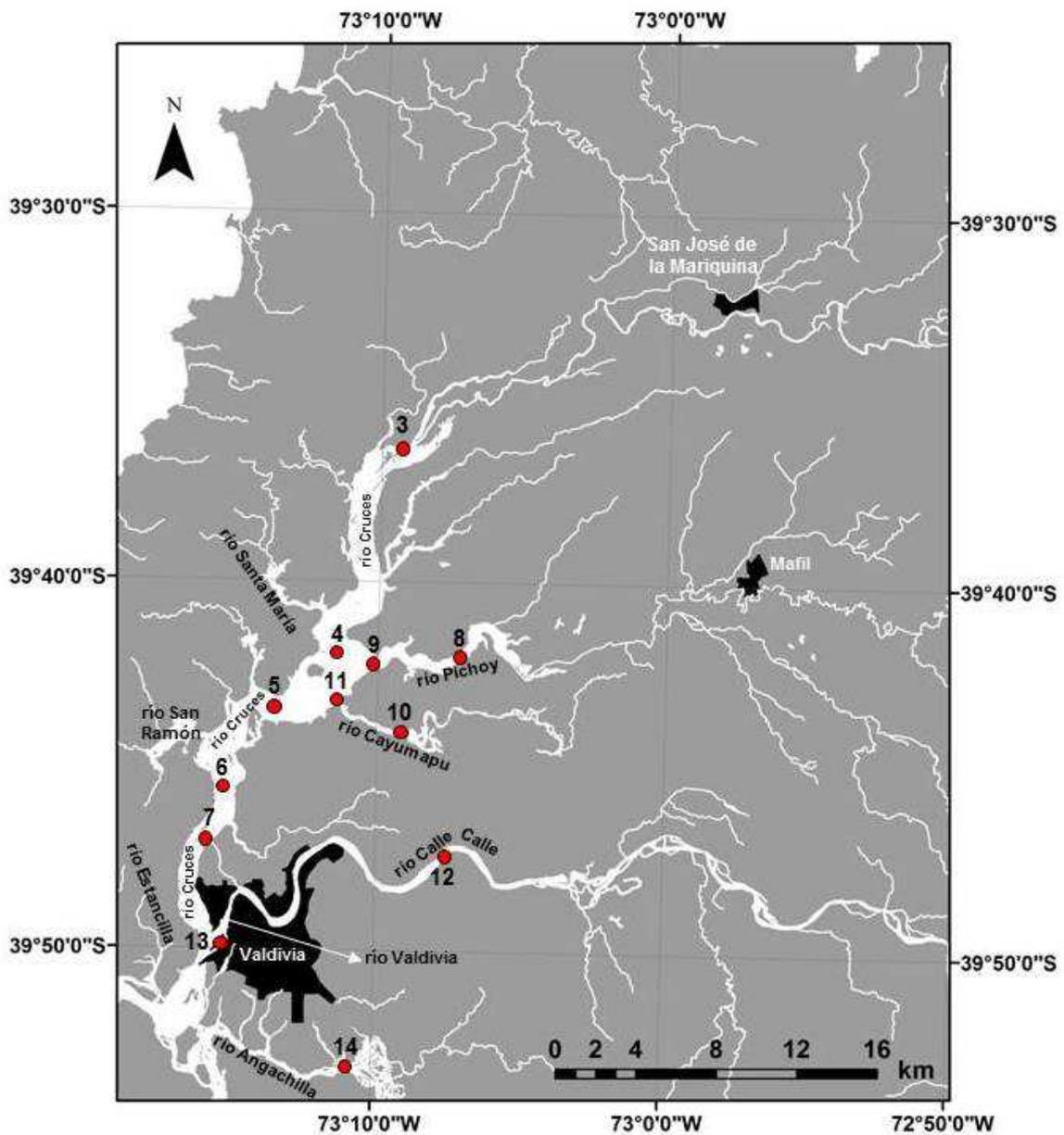
Por **Distribución espacial, cobertura y estado sanitario de macrófitas acuáticas (Estudio 3)**, se entiende el estudio de:

- Presencia y cobertura espacial de las diferentes especies de macrófitas que ocurren en las mismas estaciones donde se analizará calidad del agua y los sedimentos.
- Evaluación de presencia y concentración relativa de metales pesados en las macrófitas acuáticas más comunes del área y que están siendo consumidas por los cisnes (Luchecillo, Huiro rojo y Huiro verde), mediante microscopía electrónica de barrido y difracción por rayos X. Aun cuando esta técnica no permite entregar datos absolutos de concentraciones de metales, se la utilizará para realizar análisis comparativos de eventuales diferencias en concentraciones relativas de tales elementos presentes en macrófitas que son consumidas por los cisnes.
- Concentración de metales pesados (hierro, aluminio, manganeso, cobre, cadmio, plomo, zinc, mercurio y arsénico) en plantas de Luchecillo medida con ICP - ms ("Inductive Coupling Plasma" con detector de masas).
- Análisis de relación entre los resultados de los puntos anteriores con aquellos de calidad del agua y de los sedimentos.

Los muestreos se realizarán a fines del verano - inicios del otoño en los mismos sitios seleccionados para estudios de calidad del agua y sedimentos. Se exceptúan de este estudio a las estaciones 1 y 2 de calidad del agua (*cf.* Fig. 8 vs. Fig. 3 y Tabla 5), ya que no se han detectado macrófitas acuáticas como Luchecillo en esa porción del río Cruces.

**Tabla 5.** Zonas, estaciones y sectores de muestreo para estudio de la distribución y cobertura de las macrófitas acuáticas. Se indica también el número de réplicas, subtotal y número total de muestras para el muestreo de concentración de metales pesados en plantas de Luchecillo. Ver Figura 8 para ubicación de las estaciones.

zonas	estaciones	períodos estacionales	réplicas	subtotal
Eje central del río Cruces (sector estuarial)	3 (sector Fuerte San Luis)	1	2	2
	4 (sector Santa Clara)	1	2	2
	5 (sector Tres Bocas)	1	2	2
	6 (sector Punucapa)	1	2	2
	7 (sector Cruces - Cau Cau)	1	2	2
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)	8 (río Pichoy interior)	1	2	2
	9 (desembocadura río Pichoy)	1	2	2
	10 (río Cayumapu interior)	1	2	2
	11 (desembocadura río Cayumapu)	1	2	2
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	12 (río Calle Calle, sector alejado del área urbana actual)	1	2	2
	13 (río Valdivia, sector Las Mulatas)	1	2	2
	14 (río Angachilla)	1	2	2
<b>total de muestras</b>				<b>24</b>

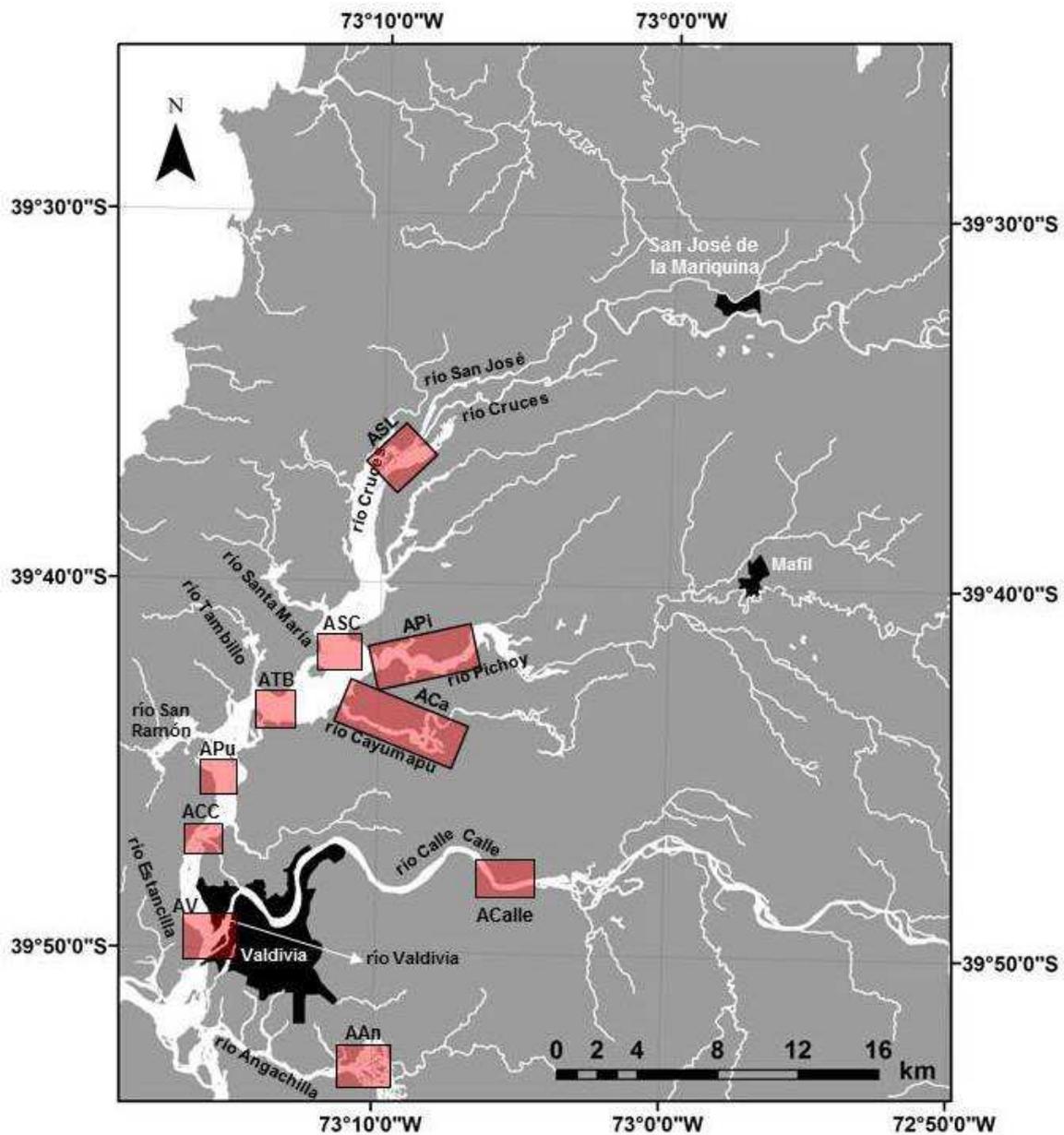


**Figura 8.** Ubicación de los sitios de muestreo para análisis de distribución y cobertura de macrófitas acuáticas y para recolección de muestras de Luchecillo para análisis de concentración de metales pesados.

Aparte de mediciones *in situ* sobre distribución y cobertura de las macrófitas, en cada uno de los sitios 3 a 14 (Fig. 9) se utilizarán sistemas UAV (“Unmanned Aerial Vehicle”) de vuelo horizontal y vertical, lo que permitirá obtener:

- Fotografías aéreas de alta resolución acerca de la distribución y cobertura de macrófitas acuáticas y vegetación palustre de las orillas.
- Mosaicos de fotografías aéreas georeferenciados.
- Modelos digitales de superficie.
- Fotografías multiespectrales.
- Videos full HD.
- Índices de vigor vegetal.
- Registros audiovisuales del estado de los sitios de estudio.

Este tipo de aproximación metodológica se llevará a cabo durante el período de menor caudal del río (fines de verano - inicios del otoño).



**Figura 9.** Ubicación de las áreas seleccionadas para los muestreos con sistemas UAV. ASL = área San Luis, ASC = área Santa Clara, APi = área Pichoy, ACa = área Cayumapu, ATB = área Tres Bocas, APu = área Punucapa, ACC = área Cruces - Cau Cau, ACalle = área Calle Calle, AV = área Valdivia, AAn = área Angachilla.

**En relación a Estado actual de la flora:**

Por **Análisis espacio - temporal de la calidad del agua y cobertura de macrófitas acuáticas mediante sensores remotos (Estudio 4)**, se entiende el estudio de:

- Reflectancia.
- Contenido de clorofila en el agua.
- Área total de los píxeles con presencia de macrófitas acuáticas en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.
- Delimitación de los polígonos que describen la presencia de plantas macrófitas acuáticas en el humedal.

Para el análisis de imágenes satelitales se usarán archivos históricos de imágenes captadas por las misiones satelitales Landsat entre los años 1990 y 2014, a una resolución de 30 m. Se obtendrán indicadores de meso-escala del estado del humedal, seleccionando a lo menos dos imágenes por año. Para las imágenes correspondientes al año 2014, se utilizarán los sitios de estudio seleccionados para el análisis de calidad de agua (concentración de sólidos suspendidos particulados, transparencia y concentración de clorofila) como conjunto de datos de validación en terreno. Además se hará uso de la información histórica de calidad de agua registrada en el humedal como datos de validación para las imágenes correspondientes, fortaleciendo así la inferencia realizada a partir de las bandas espectrales. Para estudiar la cobertura y distribución de macrófitas acuáticas, y en particular de *Egeria densa*, se construirán modelos de distribución en base a los datos de ocurrencia de plantas acuáticas, utilizándose métodos de aprendizaje de máquinas (“machine learning”) o regresión.

El análisis de la serie de tiempo de imágenes se complementará con la adquisición de imágenes de mayor resolución espectral obtenidas del sensor hiperespectral Hyperion a bordo del satélite EO-1 (Earth Observing 1). Estas adquisiciones de datos permitirán contar con imágenes de mayor resolución espectral (220 bandas espectrales *versus* las 8 ban-

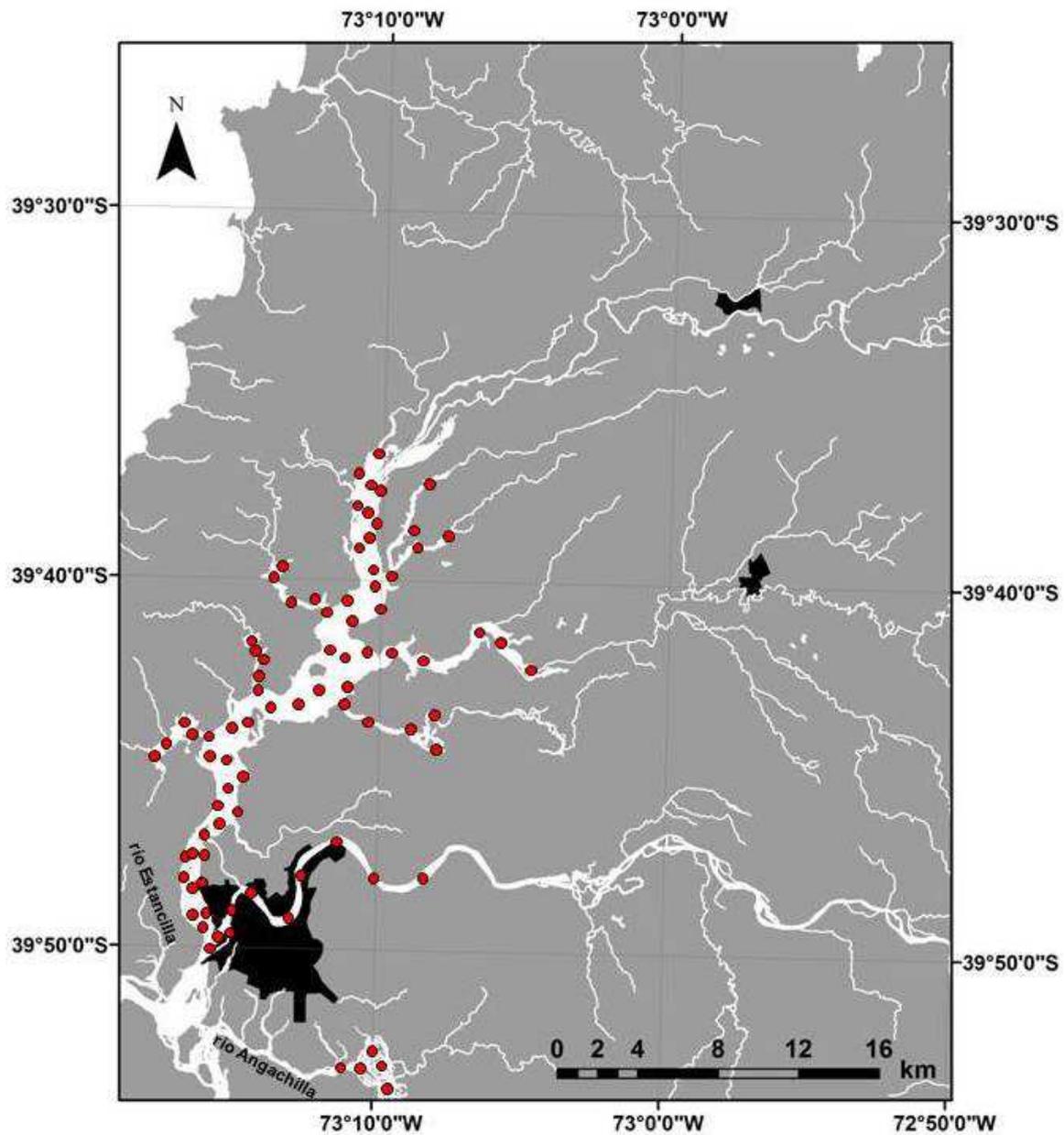
das que contemplan las imágenes Landsat). Estas imágenes se utilizarán para construir indicadores de calidad de agua y modelos de clasificación para las macrofitas acuáticas.

**En relación a Estado actual de la fauna:**

Por **Estado de la macroinfauna de fondos sedimentarios (Estudio 5)**, se entiende el estudio de:

- La distribución espacial de la macroinfauna de invertebrados bentónicos que ocurre en los fondos sedimentarios del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.
- La riqueza de especies, abundancia y biomasa de esa macroinfauna.
- La relación entre esa macroinfauna y la textura y contenido de materia orgánica del sedimento.
- La selección objetiva y numérica de organismos que puedan ser utilizados como bioindicadores de diferentes tipos de condiciones ambientales en el medio acuático.

Los muestreos se realizarán a inicios del otoño en un número de sitios que sea suficiente para cubrir los fondos sedimentarios del río Cruces y de los ríos tributarios del mismo. La Figura 10 representa una aproximación en esta dirección, ya que la misma incluye 85 sitios de muestreo, lo que en base a la experiencia de los autores de esta propuesta cubre adecuadamente la variabilidad geográfica del área de estudio. El área cubierta por estas 90 estaciones incluye al humedal del río Cruces, sus ríos tributarios y los ríos Calle Calle, Valdivia y Angachilla. De este modo se podrán evaluar eventuales diferencias faunísticas entre el río Cruces *versus* la de los ríos tributarios del humedal y de áreas alejadas del mismo (ríos Calle Calle, Valdivia y Angachilla) que serán utilizadas como controles, ya que están ubicadas fuera del área que fue directamente impactada por los cambios ambientales del año 2004.



**Figura 10.** Ubicación aproximada de 85 sitios de muestreo para el estudio de la macroinfauna de invertebrados bentónicos que ocurre en los fondos sedimentarios submareales del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, ríos Calle Calle, Valdivia y Angachilla.

Las muestras (una en cada estación) se obtendrán con dragas de aproximadamente 20 x 10 cm de mordida. Los sedimentos recolectados se filtrarán en mallas de 500 micrones. El residuo proveniente de la filtración se almacenará en bolsas plásticas con etanol al 70%, debidamente etiquetadas para posterior identificación y recuento de los macroinver-

tebrados bentónicos bajo lupa estereoscópica y microscopio. La identificación de los taxa se realizará hasta el nivel taxonómico más bajo posible.

Los valores de las abundancias de cada estación se utilizarán para estimaciones de riqueza de especies e Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (Brower & Zar, 1977). Los valores de abundancia de la macroinfauna se utilizarán para análisis de escalamiento multidimensional no métrico (EMDNM), utilizándose la distancia de Bray-Curtis como índice de similitud entre estaciones. Los datos serán transformados con doble raíz cuadrada, previo a su inclusión en el análisis. Estos análisis multivariados se utilizarán con el objetivo de evaluar eventuales asociaciones faunísticas entre estaciones de muestreo. Se utilizará el análisis SIMPER para evaluar cuales son las especies que contribuyen mayoritariamente a las diferencias taxonómicas entre estaciones de muestreo (uso de paquete estadístico PRIMER, Carr 1997).

#### **Referencias**

Brower, J.E. and Zar, J.E. (1977). Field laboratory methods for general ecology. Wm. C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa, USA: 192 pp.

Carr, M.R. (1997). Primer User Manual. Plymouth Marine Laboratory, Prospect Place, Plymouth PL1 3 DH, United Kingdom: 40 pp.

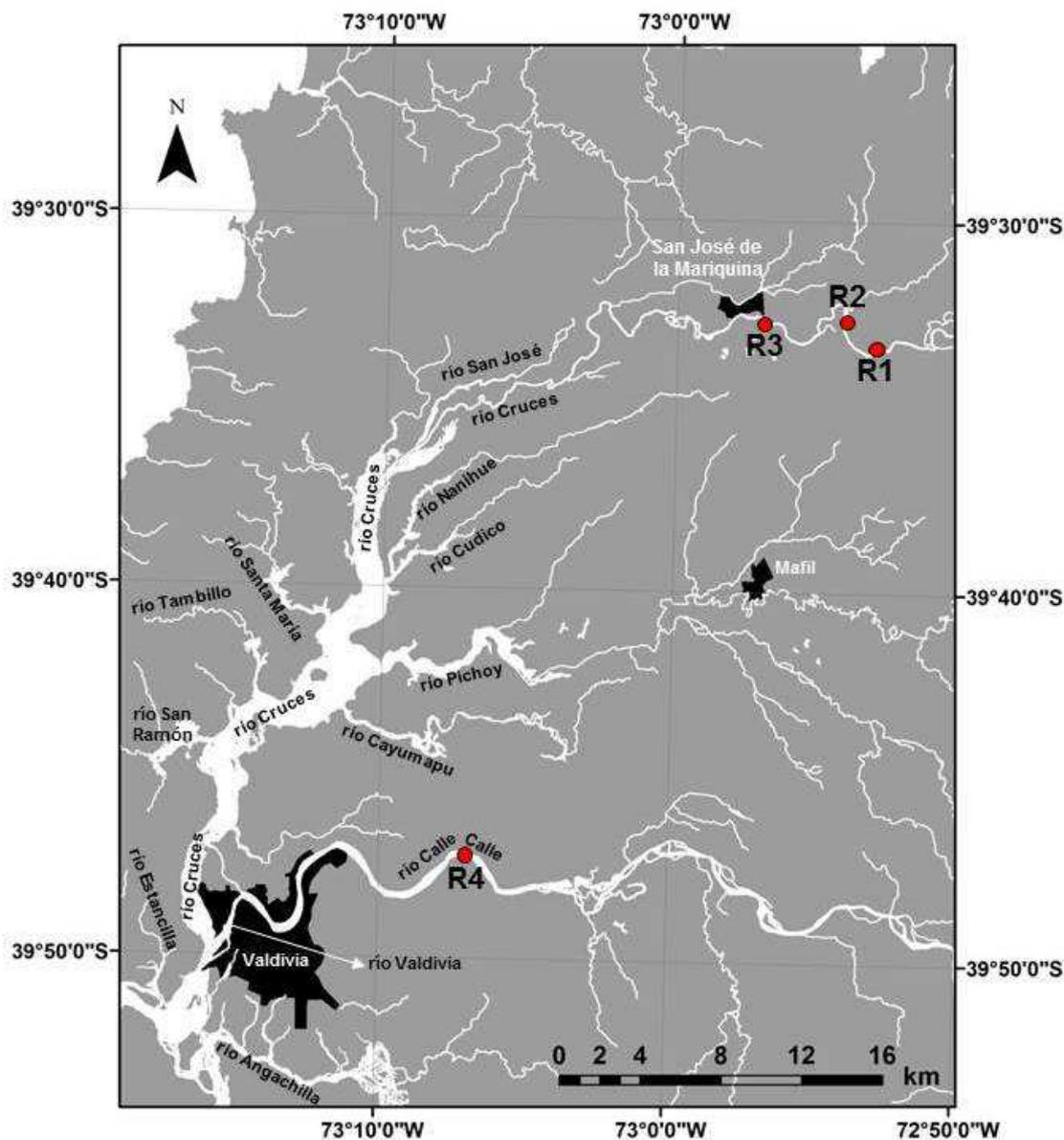
#### **En relación a Estado actual de la fauna:**

Por **Estado de la macrofauna de fondos ritrales**, se entiende el estudio de:

- La riqueza de especies, abundancia y biomasa de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurre en fondos ritrales o pedregosos del río Cruces.
- La selección objetiva y numérica de organismos que puedan ser utilizados como bioindicadores de diferentes tipos de condiciones ambientales en el medio acuático.

Los muestreos se realizarán a inicios del otoño y a fines de la primavera en los sitios que se muestran en la Figura 11. Dos de los sitios de muestreo (R1 y R2) se ubican en

la parte limética del río Cruces, uno (Carriquilda, R3) en el sector aledaño a la porción estuarial superior del río y otro en el río Calle Calle (R4). Este último sitio se considera como sitio control, ya que se ubica fuera del área que fue directamente impactada por los cambios ambientales del año 2004.



**Figura 11.** Ubicación de los sitios de muestreo para el estudio de la macrofauna de invertebrados bentónicos que ocurren en los fondos ritrales del río Cruces y río Calle Calle. R1 = sector Ciruelos, R2 = sector Rucaco, R3 = sector Carriquilda, R4 = sector río Calle Calle.

Se incluye en este programa de diagnóstico, el estudio del estado actual de este tipo de fauna, ya que insectos acuáticos y crustáceos (*Aegla* spp.) - los organismos más representativos de la fauna rítril - forman parte importante de la dieta de peces y de mamíferos acuáticos (Huillín), respectivamente (Medina 1997, 1998). Por lo tanto, este estudio aportará antecedentes para construir el diagnóstico actual de la trama trófica de los vertebrados del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

Las muestras se obtendrán con red Surber (área muestral de 0,11 m<sup>2</sup>) provista con malla de 250 µm de trama. Las muestras recolectadas (n= cinco muestras por sitio de muestreo), se almacenarán en bolsas plásticas con etanol al 70%, debidamente etiquetadas para posterior identificación y recuento de los macro invertebrados bentónicos bajo lupa estereoscópica y microscopio. La identificación de los taxa se realizará hasta el nivel taxonómico más bajo posible.

Los valores de las abundancias de cada estación se utilizarán para estimaciones de riqueza de especies e Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (Brower & Zar, 1977). Los valores de abundancia de los invertebrados bentónicos se utilizarán para análisis de escalamiento multidimensional no métrico (EMDMM), utilizándose la distancia de Bray-Curtis como índice de similitud entre estaciones. Los datos serán transformados con doble raíz cuadrada, previo a su inclusión en el análisis. Estos análisis multivariados se utilizarán con el objetivo de evaluar eventuales asociaciones faunísticas entre estaciones de muestreo. Se utilizará el análisis SIMPER para evaluar cuales son las especies que contribuyen mayoritariamente a las diferencias taxonómicas entre estaciones de muestreo (uso de paquete estadístico PRIMER, Carr 1997).

Para evaluar la calidad de agua mediante indicadores biológicos (macroinvertebrados bentónicos) se utilizó el Índice Biótico de Hilsenoff modificado (RBPIII) (Plafkin *et al.* 1989):

$$IB = \sum \frac{n_i \times a_i}{N}$$

Donde:

$n_i$  = es el número de individuos del taxon "i"

$a_i$  = es el valor de tolerancia del taxon "i"

$N$  = es el número total de individuos de la muestra

Los valores de tolerancias de los taxa varían entre 0 y 10. Los organismos con valores de 0 corresponden a aquellos que son intolerantes a las cargas de materia orgánica, a la vez que un valor de 10 corresponde a aquellos organismos que son muy tolerantes a las cargas de materia orgánica. Los rangos intermedios incluyen a organismos facultativos respecto a las cargas de materia orgánica. Los valores de tolerancias de los taxa están basados en Klemm *et al.* (1990), Barbour *et al.* (1999) y Mandaville (2002). Para los análisis de calidad de agua se utilizará la escala que se presenta en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Graduación de la calidad del agua en función del Índice biótico (Hilsenhoff 1988).

índice biótico	calidad del agua	grado de contaminación orgánica
0,00 - 3,50	excelente	aparentemente no hay contaminación orgánica
3,51 - 4,50	muy bueno	posiblemente hay contaminación orgánica, pero leve
4,51 - 5,50	bueno	algo de contaminación orgánica
5,51 - 6,50	regular	contaminación orgánica medianamente significativa
6,51 - 7,50	algo pobre	contaminación orgánica significativa
7,51 - 8,50	pobre	contaminación orgánica muy significativa
8,51 - 10,00	muy pobre	contaminación orgánica severa

## Referencias

Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder & J.B. Stribling. (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Stream and Wadeable Rivers: Peryphiton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, second Edition. EPA 841-B-99-002. US Environmental Protection Agency; Office of Water, Washington DC.

Brower, J.E. and Zar, J.E. (1977). Field laboratory methods for general ecology. Wm. C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa, USA: 192 pp.

Carr, M.R. (1997). Primer User Manual. Plymouth Marine Laboratory, Prospect Place, Plymouth PL1 3 DH, United Kingdom: 40 pp.

Hilsenhoff, W.L. (1977). Use of arthropods to evaluate water quality of streams. Technical Bulletin of Wisconsin Department of Natural Resources n° 100. 15 pp.

Klemm, D.J., P.A. Lewis, F. Fulk & J.M. Lazorchak. (1990). Macroinvertebrate Field and Laboratory Methods for Evaluating the Biological Integrity of Surface Waters. US Environmental Protecting Agency. EPA/600/4-90/030. Xii, 256 pp.

Mandaville, S.M. (2002). Benthic Macroinvertebrate in Freshwaters – Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols. (Project H-1) Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, Canada.

Medina, G. (1997). A comparison of the diet and distribution of southern river otter (*Lutra provocax*) and mink (*Mustela vison*) in Southern Chile. Journal of Zoology (London) 242: 291-297.

Medina, G. (1998). Seasonal variation and changes in the diet of southern river otter in different freshwater hábitats in Chile. Acta Theriologica 43: 285-292.

Plafkin, J.L., M.T. Barbour, K.D. Porter, S.K. Gross & R.M. Hughes. (1989). Rapid Bioassessment Protocols for use in Streams and Rivers: Benthic Macroinvertebrates and Fish. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 440/4-89/001. 8 Chapters, Appendices A-D.

### **En relación a Estado actual de la fauna:**

Por **Estado de la fauna de camarones (Estudio 7)**, se entiende el estudio de:

- La abundancia de camarones de río (*Samastacus spinifrons*) en estaciones donde se analice calidad del agua y sedimentos.
- Los tamaños corporales y pesos de los individuos recolectados.
- Las relaciones longitud – peso en esos individuos.
- La proporción sexual para cada sitio de muestreo.
- La concentración de metales pesados (hierro, aluminio, manganeso, cobre, cadmio, plomo, zinc, mercurio y arsénico) en tejidos hepáticos y musculares.

- La concentración de compuestos orgánicos persistentes incluyendo ácidos grasos, ácidos resínicos, AOX y EOX en tejidos hepáticos y musculares de peces.
- La eventual presencia de dioxinas y furanos en tejidos hepáticos y musculares.

Se incluye en este programa de diagnóstico el estudio de los camarones, debido a que los mismos forman parte de la dieta de otros animales del humedal, como garzas, huillines y visones (*e.g.*, Medina 1997,1998, Oporto 2009, Rudolph 2002). Por lo tanto, este estudio (tal como el de la fauna rítral) aportará antecedentes para construir el diagnóstico actual de la trama trófica de los vertebrados del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

Se realizarán dos muestreos estacionales; uno a fines del verano - inicios del otoño y otro a fines de la primavera, en los sitios que se indican en la Tabla 7 y Figura 12; todos ellos también seleccionados para estudios de calidad del agua y sedimentos (*cf.* Fig. 12 vs. Fig. 3 y 4).

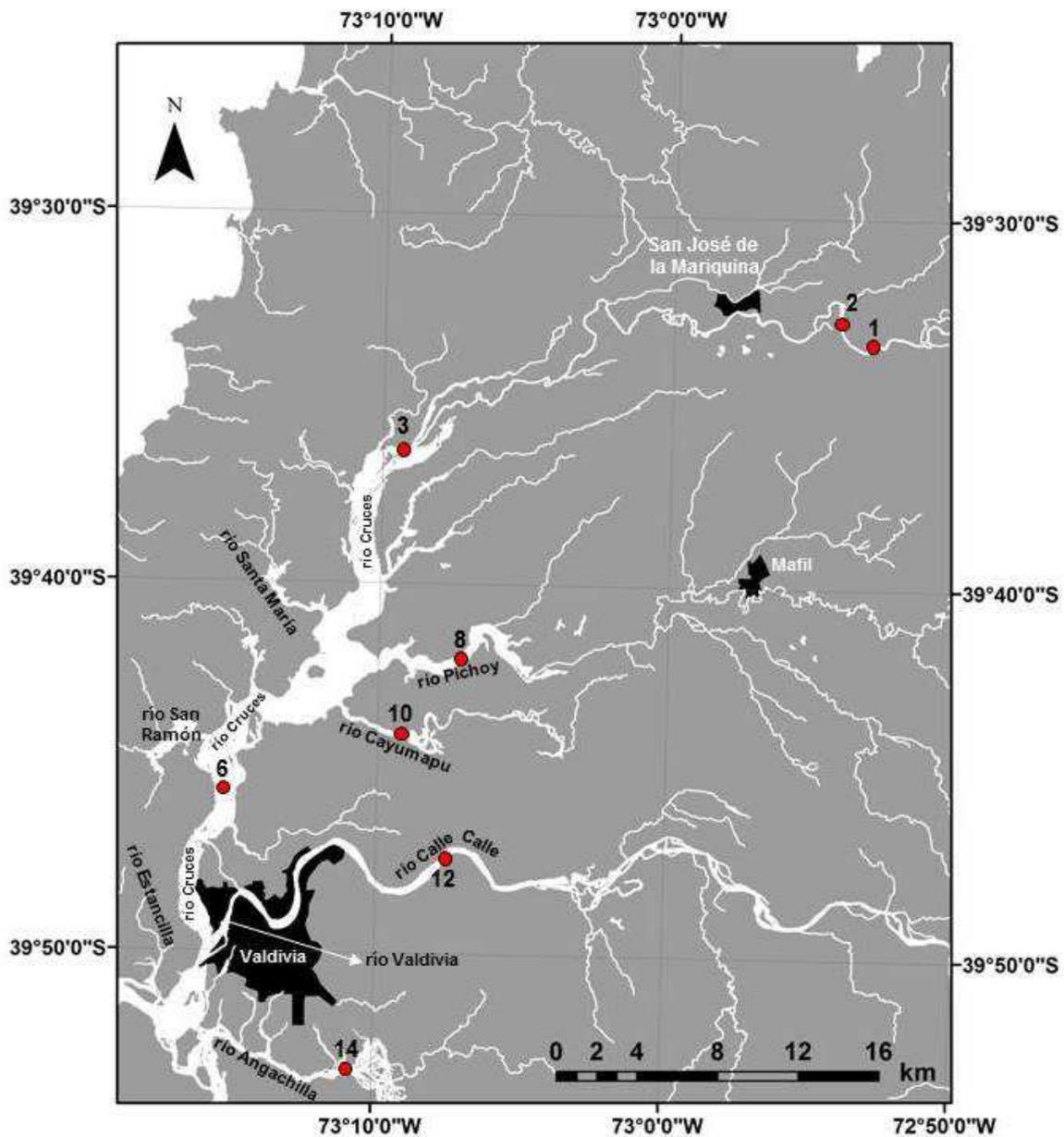
Se utilizarán dos artes de muestreo, pesca eléctrica y uso de bombas de extracción tipo pistón. La metodología de pesca eléctrica consiste en recorrer a pie un tramo determinado de orilla y en profundidades someras, utilizando un equipo activado por motor Honda GXV 50 diseñado específicamente para este tipo de estudios. Los recorridos se repetirán tres veces con el objetivo de asegurar muestras representativas de camarones en las orillas de cada estación de muestreo. El pistón se usará en zonas ubicadas en y sobre el nivel del espejo de agua en tres áreas de aproximadamente tres por seis metros.

Luego de capturados, los camarones se llevarán al laboratorio para ser medidos y pesados individualmente. Se medirá la longitud cefalotorácica, la cual se extiende entre los extremos distales del cefalón y el telson. Se obtendrá el peso húmedo de cada camarón recolectado; los datos recolectados permitirán obtener las relaciones longitud - peso. Los valores de tamaño corporal (*i.e.*, longitud cefalotorácica) serán utilizados para cons-

truir histogramas de clases de talla para cada sitio de muestreo. Se determinará el número de machos y hembras presentes en cada sitio y período de muestreo, mediante inspección de características sexuales secundarias (Rudolph 2002).

**Tabla 7.** Zonas, estaciones y sectores de muestreo, períodos estacionales, número de réplicas, subtotal y número total de muestras para el muestreo de camarones.

zonas	estaciones	períodos es- tacionales	réplicas	subtotal
Porción superior del río Cruces (sector límnic)	<b>1</b> (sector Ciruelos) <b>2</b> (sector Rucaco)	2 2	3 3	6 6
Eje central del río Cruces (sector estuarial)	<b>3</b> (sector Fuerte San Luis) <b>6</b> (sector Punucapa)	2 2	3 3	6 6
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)	<b>8</b> (río Pichoy interior) <b>10</b> (río Cayumapu interior)	2 2	3 3	6 6
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	<b>12</b> (río Calle Calle, sector alejado del área urbana actual) <b>14</b> (río Angachilla)	2 2	3 3	6 6
<b>total de muestras</b>				<b>48</b>



**Figura 12.** Ubicación de los sitios de muestreo seleccionados para los estudios de abundancia, tamaños corporales y biomasa de camarones.

Los muestreos destinados al estudio de concentraciones de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes, se realizarán una sola vez (a fines del presente período de bajo caudal hídrico) y en los seis sitios seleccionados que se muestran en la Tabla 8.

Los camarones recolectados en cada sitio se agruparán aleatoriamente en dos sub-muestras. Estos constituirán las dos réplicas para cada tejido (hepático y muscular) a las que se hace alusión en la Tabla 8. Por ejemplo; si para un sitio X se dispone de doce ejemplares, cada sub-muestra estará constituida por seis ejemplares cuyos tejidos hepáticos y musculares serán analizados en conjunto. Sin embargo, se deja establecido que cada sub-muestra deberá tener un mínimo de cuatro ejemplares; si no es así, se reunirán todos los camarones recolectados de una especie en una sola sub-muestra. Las metodologías de análisis son:

- Metales pesados: mediante espectroscopia de emisión óptica de plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) (Unidad: ug/g). El mercurio se analizará por espectrometría de absorción atómica de vapor frío (Unidad: ug/g).
- Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX) (en sedimentos de estaciones 1 a 15): titulación microcoulombimétrica con adsorción en carbono activado (Unidad: mg/kg).
- Dioxinas y furanos (en sedimentos de estaciones 1 a 15): Cromatografía gaseosa de alta resolución con detección de masa de alta resolución (HRGC/HRMS) y preparación automática de muestras (FMS) utilizando Extracción Presurizada Líquida (PLE) (Unidad: ng/g).

**Tabla 8.** Zonas, estaciones y sectores de muestreo, períodos estacionales, número de tejidos y réplicas, sub-total y número total de muestras para los análisis de concentración de metales pesados, compuestos orgánicos persistentes, dioxinas y furanos en camarones.

zonas	estaciones	períodos estacionales	tejidos	réplicas	subtotal
Porción superior del río Cruces	1 (sector Ciruelos)	1	2	2	4
	2 (sector Rucaco)	1	2	2	4
Eje central del río Cruces	6 (sector Punucapa)	1	2	2	4
Ríos tributarios del río Cruces	8 (río Pichoy interior)	1	2	2	4
	10 (río Cayumapu interior)	1	2	2	4
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	12 (río Calle Calle, sector alejado del área urbana)	1	2	2	4
<b>total de muestras</b>					<b>24</b>

## Referencias

Medina, G. (1997). A comparison of the diet and distribution of southern river otter (*Lutra provocax*) and mink (*Mustela vison*) in Southern Chile. *Journal of Zoology (London)* 242: 291-297.

Medina, G. (1998). Seasonal variation and changes in the diet of southern river otter in different freshwater habitats in Chile. *Acta Theriologica* 43: 285-292.

Oporto, J. (2009). Monitoreo del huillín (*Lontra provocax*) y su hábitat en la zona de influencia de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución, región de Los Ríos. Informe Anual CELCO-Corporación Terra Australis: 70 pp.

Rudolph, E.H. (2002). Sobre la biología del camarón de río *Samastacus spinifrons* (Philippi, 1882) (Decapoda, Parastacidae). *Gayana* 66: 147-159.

### En relación a Estado actual de la fauna:

Por Estado de la ictiofauna (Estudio 8), se entiende el estudio de:

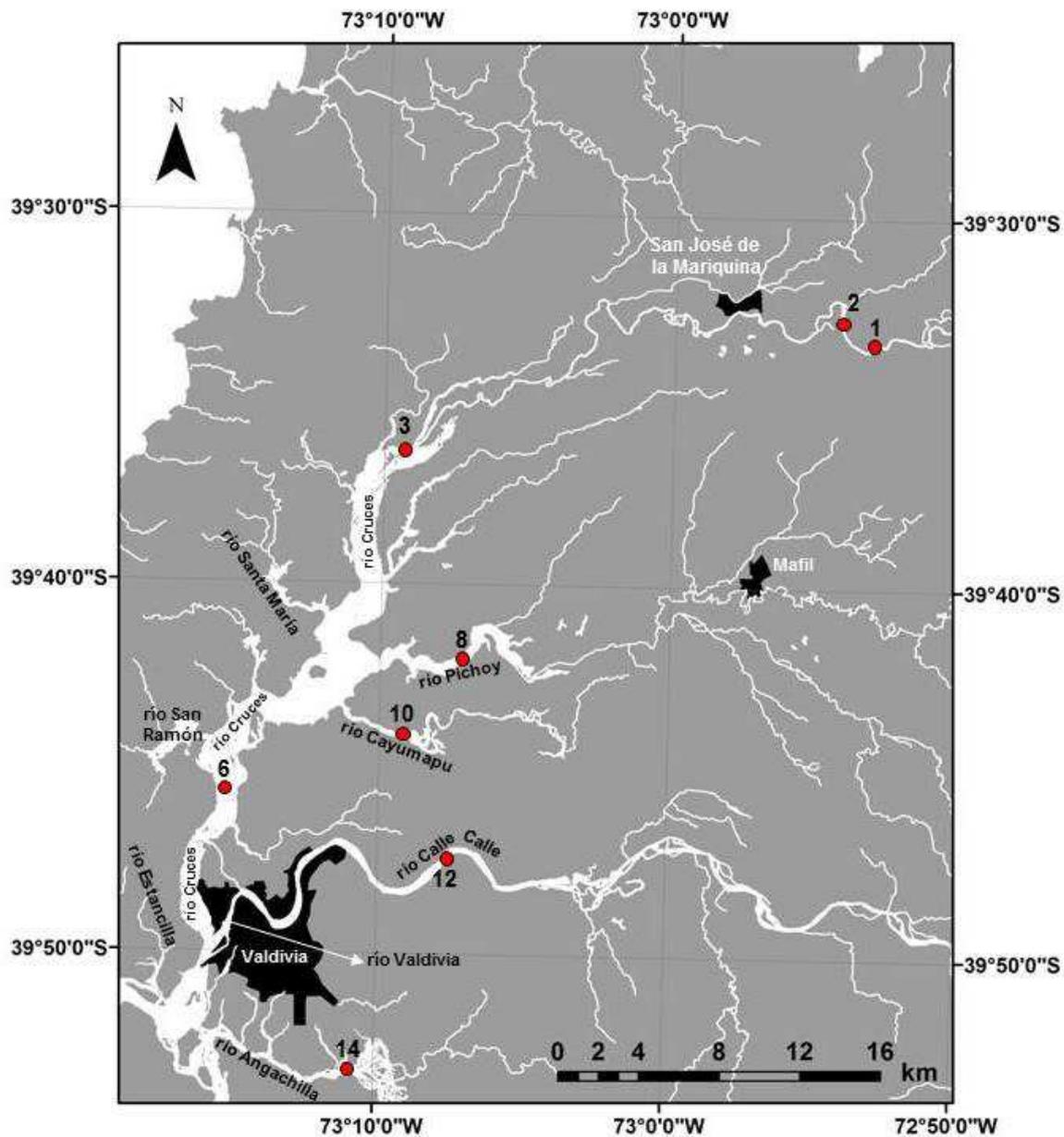
- La diversidad y abundancia de peces.
- Los tamaños corporales y pesos de los individuos recolectados.
- Las relaciones longitud - peso e Índice de Condición.

- La proporción sexual e Índice Gónado - Somático de hembras para cada sitio de muestreo.
- La concentración de metales pesados (hierro, aluminio, manganeso, cobre, cadmio, plomo, zinc, mercurio y arsénico) en tejidos hepáticos y musculares.
- La concentración de compuestos orgánicos persistentes incluyendo ácidos grasos, ácidos resínicos, AOX y EOX en tejidos hepáticos y musculares.
- Mediciones de dioxinas y furanos en tejidos hepáticos y musculares.
- Eventuales enfermedades infecto-contagiosas (de origen bacteriano, viral, parasitario o micótico), así como tóxicas y carenciales y de la presencia de agentes patógenos y/o potencialmente patógenos en peces.
- El estado inmunitario de los peces estudiado mediante la determinación de parámetros de respuesta inmune.
- Preparaciones histológicas de tejidos (cerebro, hígado, riñón, páncreas, corazón, branquias, estómago, ciegos pilóricos, gónadas y epidermis).

Para los estudios comunitarios (*i.e.* diversidad y abundancia) y poblacionales de la ictiofauna (*i.e.* , tamaños corporales y pesos de los mismos e índices biométricos (Índice de Condición e Índice gónado - somático)), se realizarán dos muestreos estacionales; uno a fines del verano - inicios del otoño y otro a fines de la primavera en los sitios que se indican en la Tabla 9 y Figura 13; todos ellos también seleccionados para estudios de calidad del agua y sedimentos (*cf.* Fig. 13 vs. Fig. 3 y 4).

**Tabla 9.** Zonas, estaciones y sectores de muestreo, períodos estacionales, número de réplicas, subtotal y número total de muestras para los estudios de estructura comunitaria y poblacional de la ictiofauna.

zonas	estaciones	períodos estacionales	réplicas	subtotal
Porción superior del río Cruces (sector límnic)	<b>1</b> (sector Ciruelos) <b>2</b> (sector Rucaco)	2 2	3 3	6 6
Eje central del río Cruces (sector estuarial)	<b>3</b> (sector Fuerte San Luis) <b>6</b> (sector Punucapa)	2 2	3 3	6 6
Ríos tributarios del río Cruces (sector estuarial)	<b>8</b> (río Pichoy interior) <b>10</b> (río Cayumapu interior)	2 2	3 3	6 6
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	<b>12</b> (río Calle Calle, sector alejado del área urbana actual) <b>14</b> (río Angachilla)	2 2	3 3	6 6
<b>total de muestras</b>				<b>48</b>



**Figura 13.** Ubicación de los sitios de muestreo seleccionados para los estudios de estructura comunitaria de la ictiofauna.

Se utilizarán dos artes de muestreo: pesca eléctrica (el mismo equipo a utilizar para la captura de camarones) y uso de diferentes tipos de redes, las cuales se dejarán instaladas en cada sitio de muestro por 12 horas y durante la noche. Luego de capturados, se conservarán los peces en alcohol al 90% hasta los análisis de laboratorio.

El sorteo por especies y el conteo de especímenes recolectado por especie, permitirá realizar estimaciones de riqueza de especies e Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (Brower & Zar, 1977). Los valores de abundancia de la ictiofauna se utilizarán para análisis de escalamiento multidimensional no métrico (EMDMM), utilizándose la distancia de Bray-Curtis como índice de similitud entre estaciones. Los datos serán transformados con doble raíz cuadrada, previo a su inclusión en el análisis. Estos análisis multivariados se utilizarán con el objetivo de evaluar eventuales asociaciones faunísticas entre estaciones de muestreo. Se utilizará el análisis SIMPER para evaluar cuales son las especies que contribuyen mayoritariamente a las diferencias taxonómicas entre estaciones de muestreo (uso de paquete estadístico PRIMER, Carr 1997).

Se medirá la longitud total de cada pez, la cual se extiende entre el extremo distal de la mandíbula inferior hasta la parte distal de la aleta caudal. Los valores de tamaño corporal (*i.e.*, longitud total) serán utilizados para construir histogramas de clases de talla para cada sitio de muestreo. Se obtendrá el peso húmedo de cada pez; los datos así recolectados permitirán obtener las relaciones longitud - peso y el Índice de Condición (*i.e.*, relación entre peso total y longitud total). F

Se sexará cada uno de los peces recolectados con el objetivo de calcular la proporción machos - hembras en cada sitio y período de muestreo. Se obtendrá además, el peso seco de las gónadas femeninas a fin de estimar el Índice Gónado - Somático (IGS) de las hembras y que se expresa como:  $IGS = (\text{peso ovario} / \text{peso total del pez} - \text{peso del ovario}) \times 100$ .

Los muestreos destinados al estudio de concentraciones de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes se realizarán una sola vez (a fines del presente período de bajo caudal hídrico) y en los seis sitios seleccionados que se muestran en la Tabla 10. Estos estudios se realizarán en tres especies de peces que por experiencia de los investigadores de este programa son las más representativas en el área: el Puye (*Galaxias platei*),

el pejerrey (*Odontesthes regia*) y la Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Más aún, estas especies están relacionadas vía líneas tróficas, por lo que el estudio de la eventual bioacumulación de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes contribuye al diagnóstico actual de la trama trófica de los vertebrados del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

Los peces recolectados en cada sitio se agruparán aleatoriamente en dos sub-muestras. Estos constituirán las dos réplicas para cada tejido (hepático y muscular) a las que se hace alusión en la Tabla 10. Por ejemplo; si para un sitio X se dispone de doce ejemplares, cada sub-muestra estará constituida por seis ejemplares cuyos tejidos hepáticos y musculares serán analizados en conjunto y no separadamente. Sin embargo, se deja establecido que cada sub-muestra deberá tener un mínimo de cuatro ejemplares; si no es así, se reunirán todos los peces recolectados de una especie en una sola sub-muestra. Las metodologías de análisis son:

- Metales pesados: mediante espectroscopia de emisión óptica de plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) (Unidad: ug/g). El mercurio se analizará por espectrometría de absorción atómica de vapor frío (Unidad: ug/g).
- Compuestos Órgano-Halogenados Adsorbibles (AOX) (en sedimentos de estaciones 1 a 15): titulación microcoulombimétrica con adsorción en carbono activado (Unidad: mg/kg)
- Dioxinas y furanos (en sedimentos de estaciones 1 a 15): Cromatografía gaseosa de alta resolución con detección de masa de alta resolución (HRGC/HRMS) y preparación automática de muestras (FMS) utilizando Extracción Presurizada Líquida (PLE) (Unidad: ng/g)

**Tabla 10.** Zonas, estaciones de muestreo, número de especies, períodos estacionales, número de tejidos y réplicas, subtotal y número total de muestras para el muestreo de concentración de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes en tres especies de peces (ver texto).

zonas	estaciones	número de especies	períodos estacionales	tejidos	réplicas	subtotal
Porción superior del río Cruces	1 (sector Ciruelos)	3	1	2	2	12
	2 (sector Rucaco)	3	1	2	2	12
Eje central del río Cruces	6 (sector Punucapa)	3	1	2	2	12
Ríos tributarios del río Cruces	8 (río Pichoy interior)	3	1	2	2	12
	10 (río Cayumapu interior)	3	1	2	2	12
Fuera del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios	12 (río Calle Calle, sector alejado del área urbana)	3	1	2	2	12
<b>total de muestras</b>						<b>72</b>

Los muestreos destinados a los estudios sanitarios e histo-patológicos de la ictiofauna se realizarán dos veces al año (a fines del presente período de bajo caudal hídrico y durante la primavera) y en los seis sitios que se muestran en la Tabla 10. Los peces destinados a estos análisis se recolectarán tal como explicado anteriormente. Para los estudios sanitarios, los peces recolectados de cada especie se agruparán aleatoriamente en cinco grupos. Estos constituirán cinco réplicas de análisis; por ejemplo; si para la especie 1 se dispone de 20 ejemplares en la estación X, cada réplica estará constituida por cuatro ejemplares que serán analizados en conjunto y no separadamente.

#### ***Metodología generales para los estudios sanitarios de la ictiofauna***

Las muestras de peces se prepararán para su envío al Laboratorio de Biotecnología y Patología Acuática de la Universidad Austral de Chile, que es Laboratorio Nacional de Referencia por Res. Ex. N° 1448 de SERNAPESCA, desde julio de 2011.

Se realizará examen clínico y necropsia de cada pez, con toma de muestras de órganos para análisis de laboratorio (bacteriología, virología y parasitología por grupo de

muestreo) anotando toda anomalía clínica. Todos los procedimientos e instructivos están normalizados y forman parte del SOP (“Standard Operational Procedures”) del laboratorio y están basados en el Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals de la OIE (Organización Mundial de Salud Animal (OIE 2012).

La detección de agentes virales y bacterianos se realizará en pools de órganos de cada ejemplar, normalmente corazón y riñón. Para el análisis parasitológico se realizará inspección macroscópica de piel, branquias, cavidad abdominal y contenido intestinal. El examen histológico entregará el diagnóstico de posibles parásitos protozoarios.

Para el estudio histológico se fijarán las muestras de órganos (cerebro, hígado, riñón, páncreas, corazón, branquias, estómago, ciegos pilóricos, gónadas y epidermis) en formalina 10% bufferizada o el pez completo, dependiendo de su tamaño. Cortes de 0.5 um serán teñidos con H&E para su interpretación en microscopio óptico.

Para PCR se procederá a extraer trozos de órganos que serán depositados en tubos Ependorf con preservante RNA later® y posterior mantención a 4°C o con gelpack hasta su traslado al laboratorio. Se describen a continuación algunas metodologías específicas:

**Homogenización de tejidos de peces para extracción de ácidos nucleicos (I-MOL-01):** metodología para realizar la homogenización de las muestras de tejido de peces para obtener células en suspensión con el objetivo de utilizarlas para extracción de ácidos nucleicos (I-MOL-03, I-MOL-04 ó I-MOL-05 según corresponda).

**Extracción de ARN total (RNA Total Kit EZNA) (I-MOL-02):** metodología para realizar la extracción de ARN total a partir de las muestras homogenizadas en I-MOL-01 para utilizarlas como templado para la síntesis de cDNA o en RT-PCR en tiempo real en un paso.

**Amplificación por RT-PCR tiempo real factor de elongación 1 $\alpha$  (I-MOL-10):** metodología para amplificar por PCR en tiempo real específicamente un gen de expresión cons-

titutiva del pez, que permite controlar la calidad de la muestra y el proceso de extracción. Deberá ser incorporado en cantidad equivalente al menos al 30% del “batch” de muestras a analizar. Se utilizarán los partidores y la sonda TaqMan descritos por Snow (2006), utilizando como templado el RNA total obtenido en I-MOL-02.

En el Laboratorio de Biotecnología y Patología Acuática de la Universidad Austral de Chile, se han desarrollado técnicas de medición de la inmunidad innata, que deberían mostrar una mayor variación en su expresión bajo condiciones de estrés ambiental, como son la actividad de lisozima en mucus y suero, producción de especies reactivas del oxígeno por parte de macrófagos y la expresión de algunas interleuquinas como IL-12 y IL-8 (Romero et al., 2012). Es así como estas proteínas y sus genes, son buenos candidatos para evaluar su expresión en condiciones de estrés de los peces.

#### ***Estudios histo-patológicos de la ictiofauna***

Durante las necropsias de los peces, se cortarán con bisturí pequeños trozos (aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> por 0,5 cm de grosor) de hígado, riñón, corazón, estómago y piel con musculatura, los que junto a una gónada, una branquia y el cerebro, se introducirán en frascos con formalina al 10%, para ser fijados por 48 horas. Estas muestras se remitirán al Laboratorio de Anatomía Patológica Veterinaria del Instituto de Patología Animal de la Universidad Austral de Chile. Dichas muestras recibirán un número correlativo del laboratorio y serán laminadas en pequeñas porciones las que se introducirán en contenedores plásticos identificados con su número. Posteriormente serán procesadas en un autotécnico, equipo que en un proceso de 20 horas, deshidrata e impregna en parafina los tejidos.

Luego de concluido el proceso anteriormente mencionado, se incluirán las muestras de tejido en parafina sólida, lo que permitirá que sean cortadas mediante un microtomo rotatorio en finas láminas de 5 micras de grosor, para ser montadas en portaobjetos. Estos tejidos serán teñidos con hematoxilina-eosina (tinción H-E) y cubiertos con un cubreobjetos mediante el uso de una resina sintética, a fin de poder caracterizar por observación microscópica las eventuales alteraciones histológicas. En aquellas muestras

donde eventualmente se encuentren trastornos pigmentarios, se aplicarán tinciones especiales como tinción de Pearls o Azul de Prusia para identificar elementos como hierro (Luna 1968).

El análisis microscópico de los tejidos se realizará con un microscopio óptico (Olympus CX31), a la vez que para la obtención de fotografías se utilizará un microscopio óptico Olympus CX41 con cámara fotográfica Olympus U-TVO.5XC-3. La magnitud de las eventuales alteraciones de los tejidos será analizada de modo semi cuantitativo por medio de la siguiente escala:

- Grado de lesión 0: ausente.
- Grado de lesión I: leve, escaso, pequeño.
- Grado de lesión II: moderado, mediano.
- Grado de lesión III: marcado, grande.
- Grado de lesión IV: severo abundante, muy grande.

#### **Referencias**

Brower, J.E. and Zar, J.E. (1977). Field laboratory methods for general ecology. Wm. C.Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa, USA: 192 pp.

Carr, M.R. (1997). Primer User Manual. Plymouth Marine Laboratory, Prospect Place, Plymouth PL1 3 DH, United Kingdom: 40 pp.

Luna LG. (1968). Manual of histologic staining methods of the Armed Forces Institute of Pathology. Third edition. Mc Graw-Hill Book Company, New York, USA.

**En relación a Estado actual de la fauna:**

Por **Estado de la fauna de anfibios y reptiles (Estudio 9)**, se entiende el estudio de:

- La distribución espacial de este grupo de vertebrados en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.
- Los índices de riqueza y abundancia de especies.
- La ubicación de especies de anfibios en alguna categoría de conservación de consideración.
- La presencia de especies exóticas que puedan estar afectando la diversidad de anfibios, en particular, la tortuga californiana *Trachemys scripta elegans*.
- El estado de salud de los especímenes recolectados a través de inspección macroscópica de la piel y de medios de cultivo bacteriano y/o técnicas moleculares.

Se realizarán prospecciones diurnas y nocturnas (10 - 18 pm y 20 - 22 pm, respectivamente). Se seguirá el mismo protocolo para eventual detección de la tortuga exótica *Trachemys scripta elegans*, pero sin prospecciones nocturnas. Los muestreos se realizarán durante el otoño (abril-mayo) y la primavera (octubre-noviembre) del año del diagnóstico. Las prospecciones se realizarán al azar, tanto en el eje central del río Cruces y en los ríos tributarios del mismo, como en los humedales aledaños a los ríos Estancilla y Angachilla. Las prospecciones a realizar en estos dos últimos sitios, permitirán evaluar eventuales diferencias en la composición y abundancia de la fauna de ranas y reptiles entre sitios ubicados en el humedal y sitios localizados en áreas alejadas del mismo (ríos Estancilla y Angachilla) y que serán utilizadas como controles, ya que están ubicadas fuera de la zona que fue directamente impactada por los cambios ambientales del año 2004.

Los datos se obtendrán a partir de capturas de larvas con redes, y registros visuales. En el caso de los adultos, la búsqueda se hará en forma minuciosa, buscando en todos los lugares posibles de encontrar estos animales, tanto en ambientes acuáticos como en las riberas y proximidades de los cuerpos de agua. Se registrará el número de personas que buscarán, el número de anfibios recolectados e identificados y el tiempo usado en

cada área de estudio. Todos los sitios muestreados serán georreferenciados. Las prospecciones se realizarán a través de tres aproximaciones no excluyentes entre sí:

- Encuentros visuales.
- Registros de cantos.
- Identificaciones cualitativas y cuantitativas de renacuajos.

Los métodos de encuentros visuales son los más usados para la evaluación y monitoreo de anfibios en áreas boscosas extensas, luego de definido un sitio de prospección. Se obtendrán datos de abundancia relativa, estados de desarrollo de las larvas y presencia de posturas y adultos. El reconocimiento de los especímenes, tanto adultos como larvas se hará a través de claves disponibles en la literatura. Para cada área se completará una ficha o protocolo de terreno, el que considerará número de especies y número de individuos. Adicionalmente, se identificará la vegetación y las condiciones meteorológicas en que se realice la colecta.

El reconocimiento de vocalizaciones de anfibios es relativamente simple, pero muy efectivo no solo para determinar la presencia o ausencia de especies de anuros, sino también para establecer época y sitios de reproducción. En este estudio, las evidencias auditivas se registrarán al mismo tiempo en que se realicen los encuentros visuales. Se harán esfuerzos por capturar a los individuos grabados para tener una mayor precisión en la identificación taxonómica.

La identificación taxonómica de larvas de anfibios se hará mediante la inspección minuciosa de riberas de los cuerpos de agua (pozas temporales, arroyos y ríos). Se tomarán datos como abundancia relativa, estados de desarrollo de las larvas y presencia de posturas y adultos.

Para cada lugar prospectado se realizará un catastro de las especies de anfibios y reptiles, estimando riqueza específica, densidad y abundancia relativa mediante el esfuerzo de muestreo realizado. Se evaluarán las preferencias de hábitat de la fauna de herpetozoos así como también se harán registros de los sucesos recientes de reproducción. Para el análisis de los datos, se utilizarán el Índice de Diversidad Específica de Shannon.

Los análisis para determinación de patógenos (el hongo quitridio detectado en Chile en varias especies de ranas y *Mycobacterium marinum*, bacteria no tuberculosa detectada recientemente en rana chilena) se deslizará una tórula (30 veces) en la superficie inferior o vientre, ingle, piernas y membranas inter digitales de los anfibios capturados. Posteriormente, la tórula se secará al aire por aproximadamente 5 minutos para luego ser colocada en un tubo de 2.0 mL. El análisis de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa), se hará usando las metodologías de PCR cuantitativo, descritas por Boyle *et al.* (2004) y Pourahmad *et al.* (2008).

### Referencias

Boyle, D. G., Boyle, D. B., Olsen, V., Morgan, J. A. T., and Hyatt, A. D. (2004). Rapid quantitative detection of chytridiomycosis (*Batrachochytrium dendrobatidis*) in amphibian samples using real-time Taqman PCR assay. *Diseases of Aquatic Organisms* 60: 141-148.

Pourahmad, A., F. Cervellione, K. D. Thompson, J. B. Taggart, A. Adams, R. H. Richards (2008) *Mycobacterium stomatepiae* sp. nov., a slowly growing, non-chromogenic species isolated from fish. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 58:2821-2827

### En relación a Estado actual de la fauna:

Por **Estado de la avifauna (Estudio 10)**, se entiende el estudio de:

- Las variaciones espaciales y temporales de los tamaños poblacionales de la avifauna más representativa del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.
- Las eventuales diferencias de los cambios ambientales que ocurrieron durante el año 2004 sobre aves con diferentes dietas tróficas (herbívoras *versus* carnívoras).

- La recuperación de la avifauna, en términos de riqueza y abundancia de especies.
- Las zonas de alimentación y nidificación de la avifauna del área.
- La eventual bio-acumulación de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes en aves herbívoras (cisne de cuello negro) y carnívoras (garzas).

Se utilizarán los registros de censos mensuales de la avifauna presente en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios en base a los censos que la Corporación Nacional Forestal (CONAF), lleva a cabo mensualmente el área desde el año 1998 al presente. Para realizar análisis comparativos se calcularán - entre otros aspectos - las abundancias promedio de la avifauna más representativa del área, agrupadas en dos bloques temporales: 1998-2004 y 2005-2013. Algunas de las preguntas del presente diagnóstico son: qué tipo de dinámica poblacional tiene la avifauna ?, cuál es el orden de las fluctuaciones en las abundancias poblacionales ? cuál es la contribución de los factores endógenos y exógenos en la dinámica de la avifauna ?

Para los análisis anteriormente mencionados se utilizará la división artificial del área que se muestra en la Figura 14. En tal división se sectorizan diez sectores; cuatro de ellos se ubican a lo largo del eje central del río Cruces incluyendo parte de algunos ríos tributarios (sectores 3, 4, 6, 8 y 10), mientras que los restantes incluyen primariamente a ríos tributarios del humedal (sectores 5 o río Cayumapu, 7 o río Pichoy y 9 o ríos Nanihue y Cudico) o fuera de este (sector 1 o río Angachilla y sector 2 o río Estancilla). Se han incluido los sectores 1 y 2 a fin de utilizarlos como controles, ya que Estancilla y Angachilla están ubicados fuera de la zona que fue directamente impactada por los cambios ambientales del año 2004.

Los datos de abundancia poblacional son el resultado de la influencia relativa de procesos interactivos (*e.g.*, demografía, tasa de reproducción, variabilidad ambiental). Una forma de disminuir la dimensionalidad de los datos de abundancia es aplicar la transformación logarítmica. Sobre los datos logartimizados se realizará un completo análisis fe-

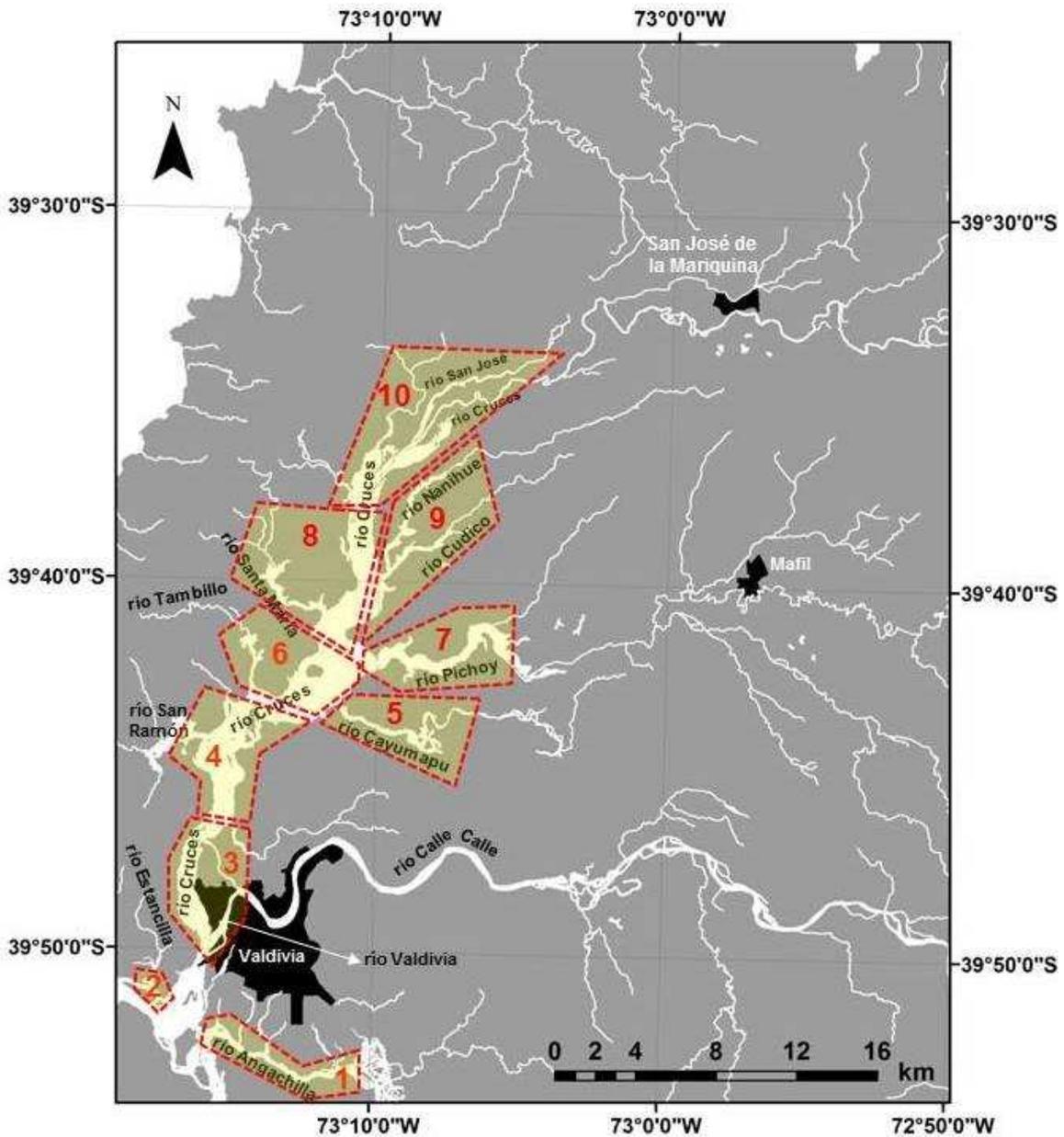
nomenológico de la distribución de la abundancia de la avifauna a través del tiempo, mediante análisis de series de tiempo para dar cuenta de la estructura de auto correlación temporal (*i.e.*, tendencias y tasas de cambio a escalas inter e intra anuales). Los datos diferenciados o tasas de cambio en abundancia  $N$  entre periodos  $t$  consecutivos ( $N_t - N_{t-1}$ ), tienen la propiedad de remover la correlación introducida por las tendencias poblacionales, dejando a la serie de tiempo en su forma estacionaria por lo que representan una variable adecuada para evaluar los incrementos/decrementos en la abundancia poblacional (Chatfield 1984). Así mismo, las tasas de cambios en abundancia son útiles para realizar una primera aproximación a la estructura de denso-dependencia presente en estas poblaciones. Por otra parte, las tendencias poblacionales serán aproximadas mediante el ajuste de polinomios de tercer orden o mediante regresiones (*e.g.*, Lagos *et al.* 2008).

Sobre los datos de tendencias y diferencias en las abundancias poblacionales, se analizará la función de auto relación y función de auto relación parcial, para evaluar en forma explícita la escala temporal de la auto correlación presente en las dinámicas poblacionales (Chatfield 1984). Por otra parte y dado que la extensión del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios es menor a la escala de dispersión de la mayoría de las aves seleccionadas como modelos de estudio (cisnes, garzas, patos), cualquier patrón de variación espacial que se observe sobre los datos de abundancia, debe ser el resultado de la variabilidad ambiental que existe a través del humedal (*cf.*, Lagos *et al.* 2008). Así, la división del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios descrita en la Fig. 14, es una adecuada aproximación para evaluar la influencia de las diferentes propiedades ambientales que caracteriza a cada zona, sobre los eventuales patrones de variabilidad espacial en la abundancia poblacional de la avifauna. Una vez realizados estos análisis fenomenológico, se realizará un análisis comparativo de las abundancias poblacionales de la avifauna usando ANDEVA de dos vías y test *a posteriori* de Tukey (Zar 1984), con el objetivo de evaluar eventuales diferencias en esas abundancias entre distintas áreas y entre los periodos 1998-2004 y 2005-2013. Además se utilizará el Test-t de Student, para comparar el número total de individuos censados de las especies menos abundantes y con mayor variabili-

dad estacional, en los mismos bloques temporales. Estos procedimientos también han sido descritos y publicados por Lagos *et al.* (2008). Se evaluará si los datos de abundancia cumplen los supuestos del ANDEVA y se realizarán las transformaciones necesarias cuando sea necesario.

Se realizarán salidas a terreno de periodicidad mensual en cada uno de los sectores indicados en la Figura 14, con el objetivo de estudiar aspectos básicos de la biología de la avifauna, como por ejemplo sectores de anidamiento de la avifauna.

Se obtendrán muestras de tejidos hepáticos y musculares del Cisne de cuello negro y de un ave carnívora como los patos cormoranes, para evaluar concentraciones de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes en aves herbívoras y carnívoras (cisnes y cormoranes, respectivamente). Los metales y compuestos orgánicos a estudiar, así como las metodologías de análisis son las mismas mencionadas anteriormente para los estudios de calidad del agua, sedimentos e ictiofauna. Los muestreos de tejidos se realizarán una sola vez (inicios del otoño) e involucrarán la captura de al menos cuatro especímenes de Cisne de cuello negro y cuatro de patos cormoranes.



**Figura 14.** Ubicación de los diez sectores delimitados en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios para analizar los datos de los censos de CONAF.

#### Referencias

Lagos N.A., Paolini P., Jaramillo E., Lovengreen C., Duarte C., & Contreras H. (2008). Environmental processes, water quality degradation, and decline of water-bird populations in the Río Cruces wetland, Chile. *Wetlands*, 28: 938–950.

Zar JH (1984) *Biostatistical analysis*. 2nd edn. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ

**En relación a Estado actual de la fauna:**

Por **Estado de la fauna de mamíferos acuáticos (Estudio 11)**, se entiende el estudio de:

- Estimaciones de abundancias de Coipo (*Myocastor coypus*).
- Estimaciones de abundancias de Huillín (*Lontra procax*).
- Estimaciones de abundancias de Visón (*Neovison vison*).

Para evaluar el estado actual de la fauna de mamíferos acuáticos del área de estudio se trabajará en colaboración con la CONAF y el SAG. Esto permitirá:

- Aunar experiencias y esfuerzos de gestión y logística.
- Compartir observaciones y datos en beneficio del logro de los objetivos del diagnóstico.
- Realizar una planificación adecuada de los planes de monitoreo a futuro de los mamíferos acuáticos del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

**Estimaciones de la abundancia de especímenes de coipo y huillín**

Se realizarán campañas de avistamientos en terreno, acompañadas de registros fotográficos. Estas se llevarán a cabo en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios además del humedal de Angachilla. Se incluye este último humedal con el objetivo de utilizarlo como control, ya que está ubicado fuera de la zona impactada por los cambios ambientales del año 2004.

Las actividades de terreno se llevarán a cabo durante dos períodos: fines de verano - inicios del otoño y fines de primavera. Cada período de estudio tendrá una duración aproximada de cuatro semanas. En cada día de trabajo se realizarán seis horas de avistamientos diarias, tres por la mañana y tres por la tarde (horas crepusculares). Las campañas de avistamiento se realizarán a bordo de embarcaciones de mínimo andar tipo kayaks. Cada punto de avistamiento será georeferenciado con GPS, registrándose la especie, nú-

mero de especímenes y el tipo de microhábitat donde ocurra el avistamiento a fin de implementar base de datos en SIG (uso de plataforma Arcgis) y generar mapas de distribución espacial y de abundancias.

Aparte de lo anterior, se realizarán avistamientos terrestres en las riberas del área de estudio en búsqueda de evidencias indirectas de la presencia del huillín, como madrigueras, huellas, letrinas y fecas (*cf.* Oporto *et al.* 2006, 2009); cada evidencia encontrada será inmediatamente georeferenciada con GPS y registrada fotográficamente. Las fecas serán recolectadas y conservadas en alcohol 70%, para análisis en el laboratorio tendientes a evaluar la dieta trófica de estos mamíferos acuáticos. Las campañas de revisión de las riberas tendrán una duración diaria aproximada de seis horas. Aparte de las actividades anteriormente mencionadas, se emplazarán puestos de observación de huillines y coipos con cámaras trampa en aquellas áreas donde los investigadores de este estudio encuentren evidencias de presencia de los mismos y en aquellas para las cuales CONAF tiene observaciones de actividad de los mismos (*e.g.*, sectores Punucapa y La Dehesa; Luis Miranda, CONAF; comunicación personal). Las cámaras trampa serán desplegadas a más de 300 m de casas y  $\geq 50$ m de senderos y caminos y a una altura aproximada de 0,5 m. Estos dispositivos quedarán emplazados en terreno por períodos de 15 días, luego de las cuales se revisarán para ser recargadas y puestas nuevamente en servicio.

### **Estimaciones de la abundancia de visón**

Complementando los eventuales avistamientos directos de visones que puedan ocurrir durante las campañas dedicadas a los estudios de coipos y huillines, se instalarán trampas Tomahawk de acuerdo a dos aproximaciones relacionadas a la distribución espacial (estas serán discutidas con personal de CONAF, el SAG y la Mesa de Trabajo del Visón dirigida por el Dr. Mauricio Soto de la Universidad Austral de Chile, antes de ser implementadas en terreno) y que serán llevados a cabo en dos épocas del año (fines de verano - inicios del otoño y fines de primavera):

i) **Muestreo extensivo**

Instalación de un número aproximado de 30-40 trampas en las riberas del eje central del río Cruces, en las de sus ríos tributarios de mayor extensión areal (Nanihe, Cudico, Pichoy, Cayumapu, Santa María, Tambillo y San Ramón) y en las riberas del humedal de Angachilla. Cada una de estas riberas constituirá una zona de captura de visones. La ubicación de las 30-40 trampas en cada zona se hará en aquellos tipos de hábitat que: i) la experiencia de personal de CONAF, el SAG, pobladores del área y científicos, recomienden como los más propensos a registrar capturas de visones, y ii) la cercanía a puntos de mayor concentración de presas conocidas del visón, como aves de corral y aves acuáticas. La localización de cada trampa será georeferenciada; en las mismas se colocarán peces muertos o huevos de gallina como cebos de atracción para estos animales. Las trampas se revisarán diariamente y por un período de siete días. Cada trampa será cubierta con vegetación de cada ribera y bolsas de basura, para evitar la exposición al frío o lluvia que pudieran sufrir los animales capturados. El criterio para decidir el número de días que estas trampas estén activas está basado en observaciones no publicadas (*e.g.*, capturas realizadas por personal de CONAF en sectores Tres Bocas, San Ramón, Punucapa y La Dehesa; fuente: Luis Miranda, CONAF; comunicación personal), las cuales muestran que cuando hay visones en una determinada área estos son capturados en 3-4 días; por el contrario, cuando no los hay la permanencia de trampas activas por 5-7 días no resulta en captura de estos animales.

ii) **Muestreo intensivo**

Instalación de un número aproximado de 60 trampas, en aquellas riberas o zonas de captura que hayan mostrado los valores más altos de captura. Esto con el objetivo de distribuir en estas zonas de alta captura, un mayor número de trampas. Los procedimientos de instalación de trampas, georeferenciación y cebado de las mismas, tiempos de permanencia de las trampas, son los mismos detallados anteriormente para la aproximación i o muestreo extensivo.

Los visones capturados en cada una de las aproximaciones de trabajo detalladas anteriormente serán sacrificados (Ley 19.473, Ministerio de Agricultura de Chile), con el objetivo de evitar que los mismos pudiesen ser recapturados en las otras zonas a monitorear posteriormente. Los cuerpos de los visones capturados serán llevados a la Sala de Necropsia del Instituto de Patología Animal de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la UACH para proceder a sexado, determinación de talla y peso corporal y extracción de estómagos e intestinos para recolectar contenidos estomacales para posterior análisis de la dieta de los animales capturados.

Los estudios así diseñados para el visón permitirán conocer:

- La extensión areal del visón en el sistema de humedales del área de estudio.
- La abundancia de los mismos en esta área.
- La dieta de los visones en el área.

**Nota:** al inicio del programa de diagnóstico, se gestionarán en el SAG los permisos correspondientes relacionados a la captura y manejo de fauna silvestre.

### **Referencias**

Oporto, *et al.* (2006) Prospección del Huillin (*Lontra provocax*) en la zona media del río Cruces, provincia de Valdivia. (Corporación Terra Australis, Junio 2006).

Oporto, *et al.* (2009) Monitoreo del Huillin (*Lontra provocax*) y su hábitat en la zona de influencia de la Planta Valdivia de Celulosa Arauco y Constitución Región de Los Ríos. (Jorge Oporto Barría, Febrero, 2009).

### **Estado actual del uso del suelo en el área de influencia del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (Estudio 12):**

#### **Antecedentes**

Esta fase del diagnóstico permitirá definir las características del área de influencia del humedal desde el punto de vista del sistema natural y socioeconómico. Para estos

efectos se definirá el área de influencia general (a nivel de cuenca aportante) y de influencia directa (sectores ribereños), las que serán analizadas a diferentes escalas en función de la temática a tratar.

Por **Caracterización del estado actual del área de influencia del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios**, se entiende:

- La caracterización de la dinámica demográfica y económica (construcciones industriales e infraestructura productiva en general) del área de estudio y su proyección en el tiempo.
- La caracterización de la dinámica de cambios en el uso del suelo del área.
- La identificación de los usos actuales del humedal y sus áreas ribereñas.
- La evaluación de la exposición visual de los paisajes del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

#### **Actividades y metodologías**

##### **Dinámica demográfica y económica**

La dinámica demográfica y económica se caracterizará sobre la base de información secundaria contenida en los censos nacionales de población y vivienda, desde el año 1952 al 2002 (INE, censos nacionales de población y vivienda). La actualización al 2013 se hará a partir de proyecciones y estimaciones derivadas de la encuesta CASEN (Ministerio de Desarrollo Social, Gobierno de Chile, 2012) y de los censos agropecuarios (INE, VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, 2007). El área para el estudio de estos procesos será la cuenca aportante al humedal, considerándose tanto la población urbana como la rural presente en el territorio. Esta información se complementará con trabajo de terreno para recabar información directamente en las comunidades involucradas, respecto a los cambios en cantidad de habitantes, procesos migratorios y características demográficas gene-

rales. Esto se realizará mediante la aplicación de una encuesta a una muestra previamente definida.

La caracterización de estos procesos permitirá definir las formas en que ha ido evolucionando la población y las actividades económicas en el área de influencia del humedal, de manera de asociarlos a la evolución del territorio y sobre esa base poder proyectar las condiciones futuras. Como resultado de estos análisis, se identificarán posibles amenazas sobre el humedal derivadas de una mayor carga poblacional (producto del crecimiento demográfico proyectado); de un incremento de las actividades económicas (por ejemplo lo relativo a construcción de nuevas industrias); reforzamiento y crecimiento de la infraestructura sanitaria, energética, e telecomunicaciones y de transporte, así como el crecimiento en el equipamiento urbano y rural y los efectos de cargas contaminantes derivadas de todo lo anterior.

De manera específica se estudiarán estos procesos y a un nivel escalar de mayor detalle, en las áreas directamente relacionadas con el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. Especial atención se pondrá a la expansión y poblamiento del área peri urbana de la ciudad de Valdivia y los instrumentos de planificación territorial disponibles para reducir los efectos negativos que este proceso pueda tener sobre el humedal.

Para el análisis de la expansión urbana de Valdivia y sus efectos sobre el humedal se analizará el Plano Regulador Comunal, de manera de verificar las tendencias actuales y proyectadas del crecimiento del área urbana de la ciudad. Para esto se comparará el PRC vigente con el que está en proceso de aprobación. Se incluirá en este análisis todos los instrumentos de planificación territorial, vigentes o en proceso de elaboración (Plan Regional de Ordenamiento Territorial de la Región de Los Ríos; Plan Regulador Intercomunal del Borde Costero y Sistema Fluvial de la Región de Los Ríos; Plan Regulador Comunal y PLADECOS de las comunas involucradas en el área de estudio).

La expansión de la ciudad de Valdivia y de los asentamientos poblados menores ribereños al humedal, conjuntamente con el aumento de construcciones (industriales y de infraestructura principalmente), traerá consigo el incremento de actividades económicas, lo que será necesario dimensionar. Para esto se realizarán proyecciones de población y se realizará un estudio prospectivo aprovechando el conocimiento de actores relevantes a nivel regional, comunal y local (Universidad de Talca / MIDEPLAN. 2003; Coper, S. y otros, 2006; Rovira, A. y otros, 2009). Esto permitirá estimar el comportamiento que se puede esperar de estas variables en un horizonte de tiempo a definir en función de los horizontes del estudio general. Para la proyección de las tendencias, se aplicarán procedimientos estadísticos de uso habitual como la fórmula de proyección de población indicada por Buenfil (1998), o las reseñadas en Bortolotti (2004). Además se realizarán talleres de expertos para definir posibles **escenarios de futuro** con una visión prospectiva.

### **Dinámica de cambios en el uso del suelo**

La identificación y evaluación de las transformaciones en la estructura del uso del suelo en el área de estudio durante las últimas décadas, son elementos determinantes para alcanzar consensos acerca de la influencia que las diversas actividades antropogénicas han ejercido en la composición territorial que hoy existe. Por otra parte, la información objetiva y representativa acerca de la evolución de la superficie comprendida en los diversos tipos de uso del suelo, corresponde al elemento clave para sentar las bases de la planificación territorial de cualquier propuesta realista de desarrollo sustentable de la cuenca del humedal del río Cruces y de sus ríos tributarios.

Este análisis busca conocer la evolución del uso de la tierra con énfasis en la cobertura vegetal, forestal y agrícola, abarcando los últimos 60 años. La metodología propuesta se basa en un muestreo sistemático a partir de puntos fotográficos-históricos, tomando como base la cartografía generada por este proyecto al año 2013. El material base consta de fotografías aéreas tomadas a partir del año 1960, cartas geográficas e imágenes

satelitales en los periodos siguientes. Dentro de los resultados esperados destaca el establecimiento de **series cronológicas de matrices de cambio del uso de la tierra** en periodos de monitoreo de 10 años hasta el año 2013, información clave para comprender los cambios ocurridos en el medio rural y alcanzar consensos en torno a diversas controversias asociadas a la utilización del área de influencia de los humedales y por lo tanto, para determinar una proyección de al menos un periodo de 20 años ,que permita promover y facilitar la formulación de políticas de desarrollo y recuperación futura de la zona de estudio.

La metodología propuesta de análisis considera:

- **Elaboración de la cartografía base actualizada al año 2013:** sobre la base de imágenes LIDAR provistas por Arauco S. A. se confeccionará la carta de uso actual del suelo para el año 2013 a una escala 1:10.000, aplicando la leyenda correspondiente a la carta de ocupación de la tierra (COT)
- **Elaboración de cartografía para cada uno de los periodos de análisis:** con el propósito de identificar las tendencias históricas de la evolución de los usos del suelo, se realizará una carta de cobertura del suelo sobre la base de fotografías aéreas e imágenes satelitales. Los cortes de tiempo serán cada 10 años a partir de 1960, de modo de dar cuenta de la dinámica del uso del suelo desde la formación del humedal.
- **Muestreo y clasificación de la red de puntos para los distintos intervalos de tiempo:** Este muestreo y clasificación de puntos se aplicará sobre la serie histórica construida a partir de 1960, con la finalidad de establecer estadísticamente los cambios en el patrón de uso del suelo.
- **Determinación de las tasas de cambio por intervalo de tiempo:** Con la información del muestreo y clasificación de puntos se confeccionarán las matrices de cambio para determinar las tasas correspondientes.

- **Modelamiento y proyección del cambio de uso de la tierra a 20 años:** Sobre la base de las matrices y tasas de cambio de la cobertura de la tierra se construirán los modelos de pronóstico y de hará la proyección del cambio de uso de la tierra en un horizonte de 20 años a partir del presente.

### **Uso del humedal**

Se identificarán los tipos actuales de uso que se verifican en el humedal del río Cruces y sus ríos tributarios riberas, incluyendo cauce y riberas. Se puede mencionar *a priori* el turismo y transporte fluvial, y la posible existencia de pesca furtiva y extracción de vegetación para uso doméstico (como puede ocurrir por ejemplo con especies de juncos). En el caso de las áreas ribereñas, resultan significativas las labores asociadas a la construcción y las prácticas agrícolas y en general las actividades extractivas, productivas y de infraestructura que pueden causar efectos sobre el humedal.

Para la identificación de los usos actuales del humedal se recolectará información que permita definir la evolución de los servicios de turismo fluvial y su proyección futura. Así mismo se evaluará el tráfico de embarcaciones de diferente tamaño que transitan por el humedal identificándose sus rutas principales de navegación, frecuencias y densidades de las mismas. Mediante la aplicación de encuestas, entrevistas y levantamiento de información de terreno, se identificarán los otros usos que pueden encontrarse en el área, especialmente la extracción de recursos hidrobiológicos (vegetación y fauna) para usos domésticos. Para la caracterización de la actividad silvo-agropecuaria, se recurrirá a los censos nacionales agropecuarios, al levantamiento y dinámica del uso del suelo y a encuestas y entrevistas a productores y habitantes rurales del sector. Como resultado de estos análisis se dispondrá de la información respecto a la presión de uso a que está sometido el humedal, su evolución a través del tiempo y las proyecciones a futuro, delineándose así las amenazas que para su sustentabilidad se pueden presentar como efecto del incremento de las actividades que se realizan directamente en él y en sus riberas.

### **Evolución y estado del paisaje**

La exposición visual de los paisajes del humedal del río Cruces constituye un valor relevante, como lo atestigua el uso turístico que de él se hace. Por esta razón, se estima necesario diagnosticar el estado actual de esta dimensión en el área de estudio, a fin de disponer de una línea de base a partir de la cual se puedan proyectar efectos futuros derivados de las transformaciones a que puede estar sometido, tanto el humedal mismo, Se aplicará una metodología que determine el grado de exposición visual de las diferentes unidades del área de estudio, para así identificar aquellas que resulten más sensibles a la intervención de la cubierta vegetal, ya sea por nuevas plantaciones o por la corta de vegetación, en la medida en que impliquen modificaciones que por su grado de exposición, repercutan en la calidad escénica del recurso. La metodología a aplicar será la desarrollada por Aravena (2013) y que se basa en análisis detallados en ambiente SIG, considerándose variables de topografía, cubierta vegetal, cuencas visuales y fuentes de visualización. Como resultado, se obtendrá una cartografía que identifique las áreas que constituyen el paisaje del humedal según su grado de exposición y visualización y desde diferentes puntos de visualización. Con esta información será posible aportar a la toma de decisiones respecto a la intervención de por ejemplo, laderas para construcción de viviendas o caminos, así como al manejo de la vegetación, especialmente en el caso de las plantaciones forestales.

El conocimiento de los patrones históricos y la dinámica de la cobertura vegetal a una escala detallada (1: 20.000) de la cuenca, permitirá establecer cuáles son los paisajes que se desean para el humedal del futuro. Esta meta podrá basarse tanto en la reconstrucción de un pasado “semi-natural” como también en otras decisiones de manejo, relacionadas con las áreas aledañas a los ríos tributarios del humedal.

### Información relevante a utilizar

- Censos nacionales de población y vivienda
- Encuesta CASEN (Ministerio de Desarrollo Social, Gobierno de Chile, 2012)
- Censos agropecuarios (INE, VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, 2007)
- Plan Regional de Ordenamiento Territorial de la Región de Los Ríos
- Plan Regulador Intercomunal del Borde Costero y Sistema Fluvial de la Región de Los Ríos
- Plan Regulador Comunal
- PLADECOS de las comunas involucradas en el área de estudio
- Fotografías aéreas e imágenes
- Otros

### Referencias

Aravena, M. (2013). Caracterización de la exposición visual. Tesis presentada como parte de los Requisitos para optar al Grado de Magister en Ciencias, Mención Recursos Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 43 páginas.

Bortolotti, E. (2004). Contraste del mercado laboral entre el estado de Puebla y la República Mexicana a principios del siglo XXI: perspectivas y propuestas. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ciencias. Tesis profesional presentada por como requisito parcial para obtener el título en Licenciatura en Actuaría. Cholula, Puebla, México. Acceso 22 de enero de 2014 a [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lat/bortolotti\\_s\\_e/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lat/bortolotti_s_e/)

Buenfil, M. (1998). Métodos de Proyección de Población. Acceso 22 de enero de 2014 a [https://www.academia.edu/1471987/METODOS\\_de\\_PROYECCION\\_de\\_POBLACION](https://www.academia.edu/1471987/METODOS_de_PROYECCION_de_POBLACION).

Coper, S.; Rovira, A.; Ulloa, P. y Azurmendy, H.. (2006). Escenarios exploratorios. Valdivia 2020. Universidad Austral de Chile/ Ministerio de Planificación y Cooperación, Gobierno de Chile. Valdivia, Chile. 159 páginas. Noviembre 2005.

Universidad de Talca / MIDEPLAN. (2003). Análisis prospectivo: cuatro casos de estudios regionales. Universidad de Talca, Centro de Estudios Regionales. Serie Cuadernos Regionales N° 5. Talca, Chile. 420 páginas.

Rovira, Ad.; Cabrera, J. A.; Zumelzu, E. y Coper, S.. (2009). Aplicación de la prospectiva como herramienta para la gestión del futuro en la Región de Los Ríos, Chile. Revista Chilena de Estudios Regionales, Año 1 N° 2. pp. 54 – 68.

### **Uso de análisis de riesgo ecológico para identificación de amenazas (Estudio 13):**

#### **Antecedentes**

Una de las orientaciones del CCS para el diseño del diagnóstico ambiental del humedal del río Cruces en cuanto a aspectos metodológicos es “*Considerar metodología de Evaluación de Riesgos Ecológico*”. Atendiendo estas consideraciones, se contrastarán resultados que se originen en los estudios de calidad del agua de este programa de diagnóstico, con los valores referenciales señalados en estudios de Riesgo Ecológico, realizados recientemente en el humedal del río Cruces (Encina *et al.*, 2009, 2010, 2011), para lo cual se procederá a realizar un nuevo análisis teórico a través de juicio experto.

Los estudios arriba mencionados fueron licitados por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y la Secretaria Regional Ministerial de Medio Ambiente entre los años 2009 y 2011 y ejecutados por el equipo de trabajo liderado por el Dr. Francisco Encina de la Universidad Católica de Temuco.

Como parte de estos estudios, Encina *et al.* (2009), caracterizaron parte de la estructura comunitaria del ensamble faunístico y florístico del Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, confeccionando un listado de 34 especies. Dentro de estas, un Panel de Expertos categorizó las especies de mayor relevancia ecológica, las especies claves y las especies de mayor representatividad en el sistema. Sobre la base de esta selección, se realizó la evaluación de riesgo ecológico de tipo teórico considerando los “end point” ecotoxicológicos (obtenidos de bases de datos nacionales e internacionales) de géneros y familias similares a las registradas en el Santuario de la Naturaleza.

Con el objetivo de contar con antecedentes que describieran las condiciones propias del ecosistema del Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter y como un medio de evitar la generación de información basada en especies que no son propias del área de estudio Encina *et al.* (2009), realizaron una Evaluación de Riesgo Ecológico sobre la base de bioensayos agudos realizados en las especies categorizadas de relevancia ecológica, sindicadas como tales en el estudio anteriormente descrito (Encina *et al.* 2010). En estos estudios se evaluó el efecto de hierro, aluminio, manganeso, cobre y zinc

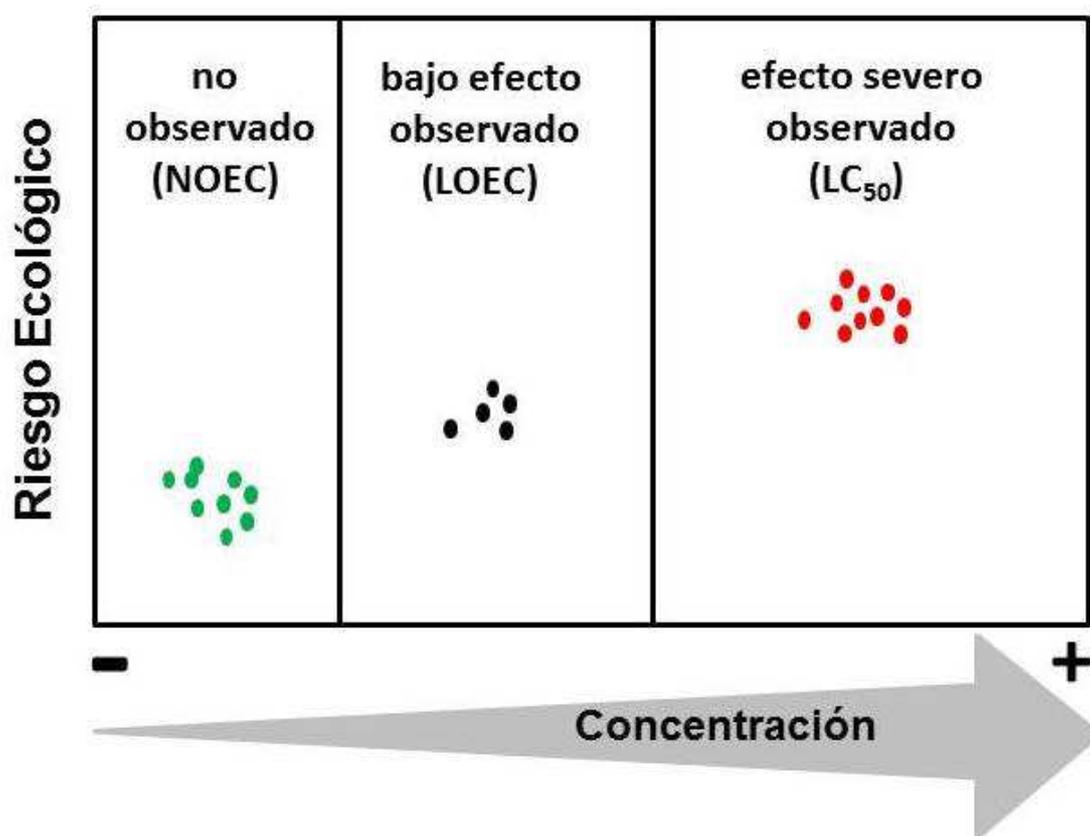
El objetivo de estos estudios pioneros en Chile, fue incorporar criterios biológicos (además de parámetros físico-químicos del agua), a la generación de Normas Secundarias de Calidad Ambiental como herramienta regulatoria, estimando empíricamente los niveles máximos de tolerancia de las especies claves a escala local y/o de importancia funcional de del ecosistema del humedal.

Debido a lo reciente de las aproximaciones analíticas anteriormente mencionadas, es que surgió la necesidad de realizar un proceso de validación, por lo cual se realizó un tercer estudio (Encina *et al.*, 2011) el que consistió en ejecutar bioensayos de toxicidad crónica en especies locales de relevancia ecológica (*i.e.*, representantes de diferentes niveles tróficos) para comparaciones posteriores de índices de exposición a hierro, aluminio y manganeso.

### **Metodologías y análisis**

Parte de los objetivos de los estudios de Encina y colaboradores, fue evaluar la concentración letal (LC<sub>50</sub> o “Median Lethal Concentration”) de organismos representativos de diferentes niveles tróficos del humedal del río Cruces (*e.g.*, plantas microscópicas y macroscópicas, zooplancton, insectos y peces, entre otros). Tomando en cuenta los valores de tales concentraciones, se prepararán gráficos x-y, donde x es la concentración de un elemento determinado e y es el riesgo ecológico (Fig. 15). Posteriormente, los valores

de las concentraciones de los parámetros químicos (hierro, aluminio, manganeso, cobre y zinc) obtenidos en cada uno de los sitios elegidos para estudios de calidad del agua en este programa de diagnóstico, serán contrastados con los datos de concentraciones letales de los organismos estudiados por Encina *et al.* (2009, 2010 y 2011). Es decir, se marcarán en los gráficos x-y los valores de concentración de los elementos químicos arriba mencionados obtenidos en este estudio para evaluar en qué áreas de tales figuras se encuentran (Fig. 15). De este modo, se conocerá el grado de Riesgo Ecológico potencial a que se ve afectada cada una de las especies modelo y representantes de un determinado nivel de la cadena trófica en la columna de agua.



**Figura 15.** Esquema para evaluar los valores de los parámetros químicos contaminantes de referencia basados en la bibliografía *versus* los valores de los parámetros obtenidos en las estaciones establecidas para el diagnóstico del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios (este programa de diagnóstico). Cabe destacar que para cada parámetro sometido a evaluación, se confeccionará una figura individual. (NOEC: No Observed Effect Concentration; LOEC: Lowest Observed Effect Concentration y LC<sub>50</sub>: Median Lethal Concentration).

## Referencias

Encina, F., *et. al.*, (2009). Aproximación Ecotoxicológica y Evaluación de Riesgo Ecológico teórico en apoyo a la elaboración del Anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia.

Encina, F., *et. al.*, (2010). Evaluación de Riesgo Ecológico para el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter como Apoyo a la Elaboración del Anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas de la Cuenca del río Valdivia.

Encina, F., *et. al.*, (2011). Evaluación de Riesgo Ecológico (Crónico) para el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter como apoyo a la elaboración del Anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia.

## **Conocimiento Ecológico Local (Estudio 14):**

### **Antecedentes**

Una de las orientaciones del CCS para el diseño del diagnóstico ambiental del humedal del río Cruces es *“Considerar la participación de la comunidad y su conocimiento ecológico local en el diseño y la implementación del diagnóstico”*.

Esta orientación metodológica refleja la preocupación por un importante recurso, como es el conocimiento de actores locales, para la recuperación del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios. Esta perspectiva supone algunos cambios en las formas cómo se desarrollan las investigaciones, proyectos, programas y políticas sobre desarrollo. Ella se inserta en un paradigma emergente al que se ha denominado pluriversidad epistémica (Arce & Long 1992).

La literatura internacional destaca el rol del conocimiento local o indígena en la investigación de los recursos naturales y el desarrollo de interfaces, donde el conocimiento local y el conocimiento experto o científico, articuladamente, permiten lograr de manera dinámica un conocimiento para la acción de conservación, recuperación o planificación de la gestión de ambientes naturales. Además, en la última década se ha destacado la interrelación entre procesos sociales y ecológicos (Adger 2000).

Es necesario tener presente que el conocimiento se refiere a las formas cómo se entiende el mundo y las formas cómo la gente interpreta y otorga significados a sus experiencias. En relación con esta concepción es posible, para fines operacionales, distinguir entre tres tipos de conocimientos que se encuentran presentes en muchas situaciones de desarrollo y se manifiestan en prácticas sociales diferenciadas de acuerdo a la adscripción a comunidades de prácticas:

- Conocimiento científico: formal, validado a través del método científico y en relación a pares externos. Aspira a formulaciones universales.
- Conocimiento experto: inserto en comunidades de profesionales y validado por adscripción institucional. Orientado a la evaluación e intervención y por lo tanto con una orientación normativa clara.
- Conocimiento local, informal o con reglas “*ad hoc*” de organización, basado en la experiencia de vida y sin pretensión universal.

Especialmente en situaciones de crisis, el conocimiento local es un medio de empoderamiento de las comunidades para poder ejercitar sus propias habilidades de interpretación y gestión, posibilitando un mayor control del proceso de desarrollo sustentable. Esto implica el internalizar procesos metodológicos que faciliten la co-construcción de conocimiento; en otras palabras, la creación de espacios para generar conocimiento en interface entre los tipos de conocimiento y de los actores que los acogen y generan (Blaikie *et al.* 1997, Warburton & Martin 1999).

Respeto a la situación del humedal del río Cruces y de sus ríos tributarios, existen variadas constancias que destacan la relevancia de las percepciones, experiencias prácticas y conocimientos de miembros de las comunidades locales, respecto a las características de este ecosistema y de sus transformaciones ambientales, especialmente, a partir del año 2004 en el que comienza a operar la planta de celulosa de Arauco. En base a lo ante-

riormente señalado, se ha incluido en el Programa de Diagnóstico Ambiental el estudio del conocimiento ecológico local.

En este caso el estudio del conocimiento ecológico local, se refiere a:

- Conocimiento e interpretación de percepciones y experiencias significativas de actores locales sobre el humedal del río Cruces.
- Identificación, descripción y localización de transformaciones en el estado de las aguas, flora y fauna del humedal.
- Identificación y descripción de amenazas significativas para el humedal.
- Indicaciones para incorporar al programa de monitoreo ambiental y capacidad/voluntad para co-participar de este proceso.
- Selección de aspectos del estado del humedal y de sus programas de gestión, en los que se requiere de interfases o articulaciones dinámicas entre informantes comunitarios, científicos y otros actores vinculados a la gestión y sustentabilidad del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

En tales sentidos, las actividades y metodologías a aplicar comienzan con la identificación de informantes locales calificados (inicialmente 10), vale decir, miembros de las comunidades asentadas en el espacio del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, que destaquen por sus conocimientos sobre el ecosistema o su papel en la crisis del año 2004. Luego se efectuarán entrevistas focalizadas y en profundidad a tales miembros en torno a tres temas:

- Características ecológicas locales (micro-zonales) del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.
- Transformaciones apreciadas en el ecosistema.
- Participación de los mismos en procesos de colaboración en curso con otras comunidades de conocimiento (científico y experto) llevadas a cabo durante el período 2004-2014.

El número de informantes podrá ampliarse en base a la técnica de “bola de nieve” (Scribano 2007), hasta que se logre un nivel de saturación; *i.e.*, hasta que no surjan nuevos sujetos y datos relevantes para el diagnóstico.

El análisis de la información recolectada, consistirá en la interpretación de los discursos de los informantes a través de la técnica de Hermenéutica Colectiva (Molitor 2008). En caso que los resultados de este análisis interpretativo muestren la necesidad de profundizar en algún aspecto de mantención o cambio significativo para la descripción del ecosistema, las comunidades y sus prácticas, se procederá a aplicar, en la línea de la etnografía multi-situada, cápsulas etnográficas en base a observaciones y entrevistas focalizadas (Marcus 1995).

#### **Referencias:**

Adger, W.N., (2000). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography* 24(3):347-364.

Arce, A. and Long, N. (1992). The dynamics of knowledge-interfaces between bureaucrats and peasants. In N. Long and A. Long (eds). *Battlefields of knowledge: the interlocking of theory and practice in social research and development*. Routledge, London. pp. 211-246.

Blaikie, P., Brown, K., Stocking, M., Tang L., Dixod, P. & Paul Sillitoeb. (1997). Knowledge in Action: Local Knowledge as a Development Resource and Barriers to its Incorporation in Natural Resource Research and Developmente. *Agricultural System* 55 (2):217 -237.

Marcus, G.E. (1995). Ethnography in/of the World System: The Emergence of Multi-Sited Ethnography. *Annual Review of Anthropology* 24:95-117.

Molitor, M. (2008). Sobre la Hermeneútica Colectiva. *Revista Austral de Ciencias Sociales*, N° 5, 2001, pp. 3-14.

Scribano, A. O., (2007). El proceso de investigación social cualitativa. B. Aires, Prometeo Libros, p. 36-37.

Warburton, H. and Martin, A., 1999. Local people's knowledge in natural resources research. *Socio-economic Methodologies for Natural Resources Research*. Chatham, UK: Natural Resources Institute.

## Servicios Ecosistémicos (Estudio 15):

### Antecedentes

Toda actividad humana depende en su base de los ecosistemas y los flujos de bienes y servicios que éstos proveen (MEA, 2005; Heal, 2000). Diversos estudios, como los informes del “Millennium Ecosystem Assessment” (MEA) (2005) y “The Economics of Ecosystems and Biodiversity” (TEEB) (2010), han relevado la creciente degradación que pesa sobre un gran número de ecosistemas y que en algunos casos llega a puntos críticos poniendo en riesgo la provisión de servicios fundamentales para el bienestar humano. De acuerdo con el informe elaborado por el MEA (2005), alrededor de un 60% de los servicios ecosistémicos (SE) evaluados a nivel mundial están siendo degradados o utilizados de forma no sustentable.

En este contexto, el concepto de SE ha cobrado una creciente relevancia durante la última década en el ámbito de la investigación científica y la planificación territorial. Lo anterior se debe en parte, a la importante contribución que hace el concepto por vincular el sistema ecológico con el sistema social, a través de la relación entre funciones de los ecosistemas con componentes del bienestar humano. De manera sencilla, **SE pueden definirse como los beneficios que proveen los ecosistemas a los seres humanos contribuyendo a su bienestar** (MEA, 2005). No obstante, no existe consenso dentro de la comunidad científica en torno a una única definición del concepto, siendo motivo de controversia el si los servicios ecosistémicos constituyen efectivamente beneficios o son generadores de ellos (Nahlik *et al.*, 2012).

Se han elaborado diversas clasificaciones y tipologías de SE (Costanza *et al.*, 1997; Daily 1997; de Groot *et al.*, 2002; MEA, 2005; Wallace, 2007; Haines-Young & Potschin, 2010; TEEB, 2010), siendo uno de los esquemas más aceptados el que entrega el MEA (2005). Según ese esquema, los SE se clasifican en servicios de provisión (*e.g.* comida, fibra, agua fresca), servicios de regulación (ej. regulación del clima, control de la erosión, polinización), servicios culturales (eg. recreación, relaciones sociales, diversidad cultural) y servicios de soporte (ej. formación del suelo, fotosíntesis, ciclo de nutrientes). Clasifica-

ciones posteriores como la del CICES (“Common International Classification of Ecosystem Services”) (Haines-Young & Potschin, 2010) y la del TEEB (2010) han sugerido eliminar los servicios ecosistémicos de soporte, ya que estos tienden a “doble contarse”, al ser la base de los demás.

Desde el punto de vista económico, gran parte de los SE pueden ser considerados como bienes públicos (Nahuelhual & Núñez, 2011), para los cuales no está definido un mercado que registre su valor en términos monetarios. Lo anterior, cobra especial relevancia y es particularmente aplicable a los SE culturales (Gee & Burkhard, 2010; TEEB, 2010; Barrena *et al.*, 2014). Una consecuencia directa de esto, es que en los procesos de toma de decisiones que afectan a los territorios, los SE son constantemente subvalorados; por ejemplo, en la planificación del uso de la tierra o en la decisión de desarrollar proyectos con fines productivos o de conservación. No obstante, bajo el enfoque de los SE, es posible alinear objetivos de producción y conservación, aumentando simultáneamente el bienestar humano y la protección de la biodiversidad biológica (Chan *et al.*, 2006; Balvanera & Cotler, 2007; Mertz *et al.*, 2007; Costanza, 2008).

Por el **Estudio de Servicios Ecosistémicos**, se entiende:

- La identificación de los SE del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.
- La clasificación y vinculación de los SE con las funciones ecosistémicas que los generan.
- La vinculación de los SE identificados con los distintos componentes del bienestar humano.
- La identificación de los cambios en la provisión y compensaciones (“trade-offs”) surgidas entre algunos SE relevantes, a partir de alteraciones en la salud del ecosistema del humedal, producto de fuentes de contaminación industrial.

- La identificación de grupos sociales, vinculados a la provisión y beneficios generados por los SE identificados.
- El establecimiento de sugerencias sobre métodos de valoración ecológica, económica y/o social a aplicar, de acuerdo a la naturaleza de cada SE identificado.

### **Actividades y Metodologías**

Se propone una metodología basada en la revisión de literatura científica especializada, informes técnicos y estudios similares al aquí propuesto. Se propone además la consulta a expertos, levantada a través de uno o más instrumentos metodológicos diseñados para estos fines. Adicionalmente, se puede relevar información que entreguen los interesados (“stakeholders”) presentes en el territorio.

El enfoque de los SE (Fig. 16) y el modelo de cascada (Haines-Young & Potschin 2010) (Fig. 17) son la base conceptual que sostiene todo el procedimiento metodológico. Las aproximaciones metodológicas se asumirán desde la perspectiva de análisis del socioecosistema (Collins *et al.*, 2011), vinculando el análisis de los servicios ecosistémicos con la resiliencia del sistema en su conjunto (Folke, 2006).

El diagnóstico sobre los SE se apoyará fuertemente en los insumos que puedan aportar otras áreas del componente biofísico de diagnóstico del humedal. Adicionalmente, y en consideración a la condición de sitio RAMSAR del Santuario de la Naturaleza e Investigación Científica Carlos Anwandter, se tendrá especial preocupación por el valor patrimonial del área de estudio, así como por los aspectos ecológicos y normativos que ello involucra. Las actividades involucradas son: visitas a terreno, realización de reuniones con expertos e interesados (“stakeholders”) que habitan en el territorio.

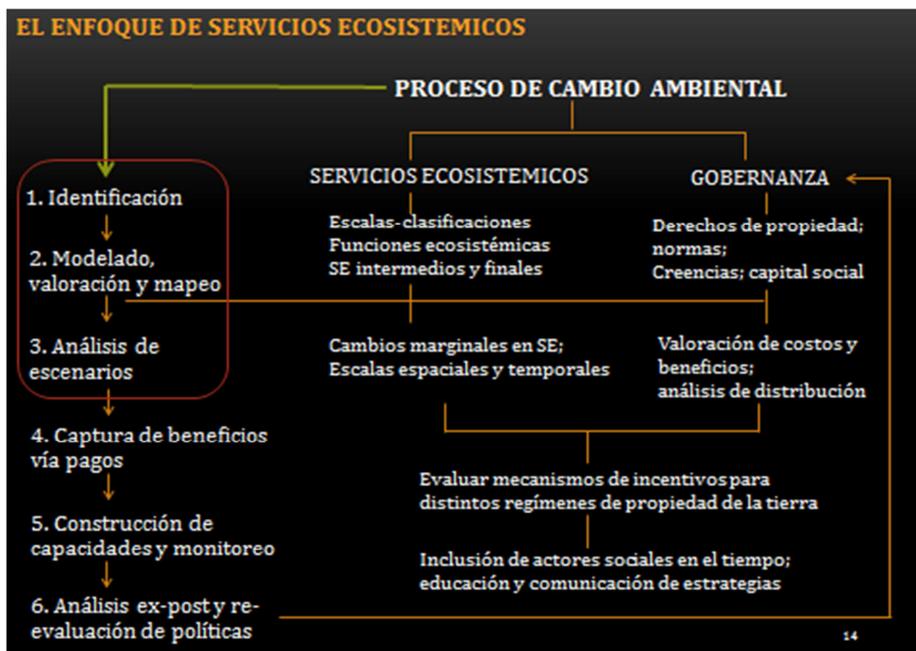


Figura 16. El enfoque de Servicios Ecosistémicos para la conservación.

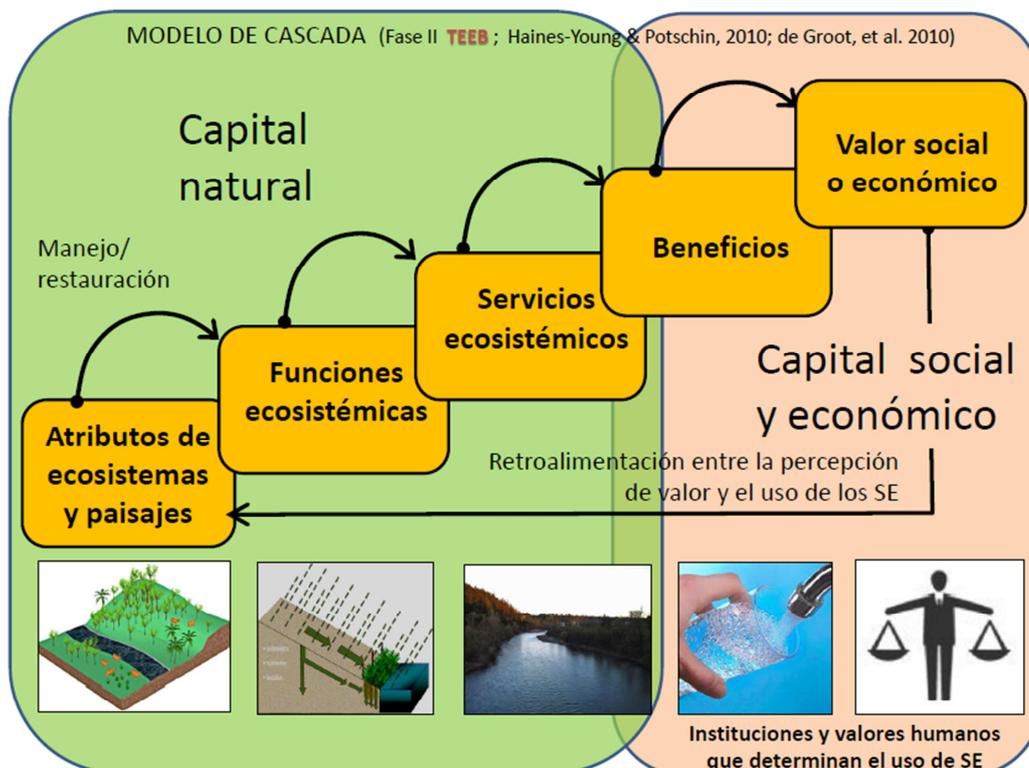


Figura 17. Modelo de cascada de Servicios Ecosistémicos (adaptado de Turner & Daily 2008).

### **Productos de este estudio**

- Listado priorizado de SE del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.
- Matriz de doble entrada entre funciones-servicios basada en juicio experto. La matriz indicará la relación (si existe o no) y el peso específico que cada función tendrá en la generación de cada servicio ecosistémico.
- Matriz doble entrada de servicios-componentes del bienestar humano basada en juicio experto. La matriz indicará la relación y el peso específico que cada servicio tendrá en la generación de cada componente del bienestar.
- Matriz de sinergias y compromisos (“trade-offs”) entre servicios ecosistémicos, frente a escenarios como por ejemplo, curso normal (todo sigue como está), optimista (ej. acciones de restauración se implementan en el humedal) y pesimista (ej. nuevas actividades económicas generar más degradación). Esta matriz indica qué SE aumentan y cuáles disminuyen frente a los escenarios. Por su parte los escenarios deben ser construidos en base a juicio experto y consulta a actores locales relevantes.
- Tipología de beneficiarios y afectados de servicios ecosistémicos.
- Mapa de beneficiarios.
- Mapa de provisión de servicios ecosistémicos (ej. en base a variables proxy espaciales disponibles o mapeo con participación de expertos y actores locales clave).
- Tipología de métodos de valoración ecológica (ej. indicadores de integridad ambiental), social y/o económica a partir de información secundaria de estudios en humedales realizados en contextos similares.

**Nota:** las actividades y productos señalados, permitirán realizar un análisis integrado de sinergias y compromisos entre los distintos SE bajo los escenarios definidos, lo que

permitirá elaborar las principales conclusiones y recomendaciones (ej. alternativas de mantención o recuperación de SE). Se anticipa que será posible identificar una amplia combinación de SE de aprovisionamiento (ej. producción de alimentos en áreas ribereñas), de regulación (ej. prevención de inundaciones) y culturales (ej. oportunidades de educación, actividades recreativas, salud mental y física, apreciación estética e inspiración, sentido de pertenencia). Estos tendrán distintos niveles de amenaza bajo el estado actual del humedal y los escenarios definidos. La cuantificación, modelación y valoración detalladas de los SE identificados en la etapa de diagnóstico será parte fundamental de una de las líneas de investigación del Centro de Investigación de Humedales y cuyo objetivo general será diseñar recomendaciones más precisas para que sean integradas en un futuro Plan de Gestión Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.

## Referencias

- Balvanera, P., Cotler, H. (2007). Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica* (Instituto Nacional de Ecología, México), número especial 84-85, 8-15.
- Barrena, J., Nahuelhual, L., Báez, A., Schiappacasse, I., Cerda, C. (2014). Valuing cultura ecosystem services: Agricultural heritage in Chiloé island, southern Chile. *Ecosystem Services* In Press, Corrected Proof.
- Chan, K.M.A., Shaw, M.R., Cameron, D.R., Underwood, E.C., Daily, G.C. (2006). Conservation planning for ecosystem services. *PloS Biology* 4(11), 2.138-2.152.
- Grimm, J.M. Grove, S.L. Harlan, J.P. Kaye, A.K. Knapp, G.P. Kofinas, J.J. Magnuson, W.H. McDowell, J.M. Melack, L.A. Ogden, G.P. Robertson, M.D. Smith, A.C. Whitmer. (2011). An integrated conceptual framework for long-term social–ecological research. *Frontier in Ecology and the Environment* 9(6), 351-357.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260.
- Costanza, R. (2008). Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. *Biological Conservation* 141:350-352.
- Daily, G.C. (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC, p. 392.

de Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41, 393–408.

Folke, C. (2006). Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16 (3), 253–267.

Haines-Young, R., Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: Raffaelli, D., Frid, C. (Eds.), *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*, BES Ecological Reviews Series. Cambridge University Press, Cambridge.

Heal, G. (2000). Valuing ecosystem services. *Ecosystems* 3, 24-30.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment), (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.

Mertz, O., Ravnborg, H.M., Lövei, G.L., Nielsen, I., Konijnendijk, C.C. (2007). Ecosystem services and biodiversity in developing countries. *Biodiversity Conservation* 16, 2.729-2.737.

Nahlik, A., Kentula, M., Fennessy, M.S., Landers, D.H. (2012). Where is the consensus? A proposed foundation for moving ecosystem service. *Ecological Economics* 77, 27-35.

Nahuelhual, L., Núñez, D. (2011). Servicios ecosistémicos: contribución y desafíos para la conservación de la biodiversidad. En: Simonetti J.A. y Dirzo R. (ed), *Conservación Biológica: Perspectivas desde América Latina*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile, 196 p.

TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). (2010). *Mainstreaming the economics of nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*.

Turner R. K., Daily G.C. (2008). The Ecosystem Services Framework and Natural Capital Conservation. *Environmental and Resource Economics* 39:25–35.

Wallace, K.J. (2007). Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation* 139, 235-246.

## **V. ANALISIS INTEGRADO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los resultados que se originen de cada uno de los estudios diseñados para ser ejecutados como parte del PDA 14-15, se integrarán en análisis integrados que dé cuenta entre otros, de aspectos como:

- El estado actual del medio acuático del humedal del río Cruces y de sus ríos tributarios (incluyendo estado de afectación y grado de recuperación).
- El estado de la dinámica del sistema territorial correspondiente al área de influencia del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios.
- El estado general de los beneficios que presta el humedal al hombre (servicios ecosistémicos).
- La percepción de la comunidad (conocimiento ecológico local) sobre los cambios que ha tenido el humedal y sobre la importancia que esta le atribuye a este cuerpo acuático.

Estos análisis integrados tendrán una perspectiva de proyección a fin de orientar:

- Eventuales modificaciones y complementos al Programa de Monitoreo.
- El diseño de líneas de investigación, tendientes a predecir la respuesta o resiliencia del humedal a forzantes de origen natural y antrópico que puedan afectar al área en el futuro.
- La elaboración de la base para el diseño de un Plan de Gestión Ambiental del humedal del río Cruces y sus ríos tributarios, el que debería adoptar la forma de un “Master Plan” que determine las intensidades de uso a que, de manera diferenciada, podrían ser sometidos los distintos sectores que se identifiquen en el humedal.
- Programas y acciones de educación ambiental.

## **VI. EQUIPO DE INVESTIGADORES**

La Figura 18 muestra la asignación de investigadores a cada uno de los estudios de este programa de diagnóstico. La afiliación de los mismos se muestra a continuación:

**Universidad Austral de Chile*****Facultad de Ciencias***

Dr. Eduardo Jaramillo  
Dr. Mario Pino  
Dr. Adriano Rovira  
Dr. José Nuñez

***Facultad de Ciencias Veterinarias***

Dr. Enrique Paredes  
Dr. Ricardo Enríquez  
Med. Vet. Angelo Espinoza

***Facultad de Medicina***

Dr. Bruno Peruzzo  
Ing. Elect. Ricardo Silva

***Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales***

Dr. Víctor Sandoval

***Facultad de Ciencias Agrarias***

Dra. Laura Nahuelhal  
MgSc. José Barrera

***Facultad de Filosofía y Humanidades***

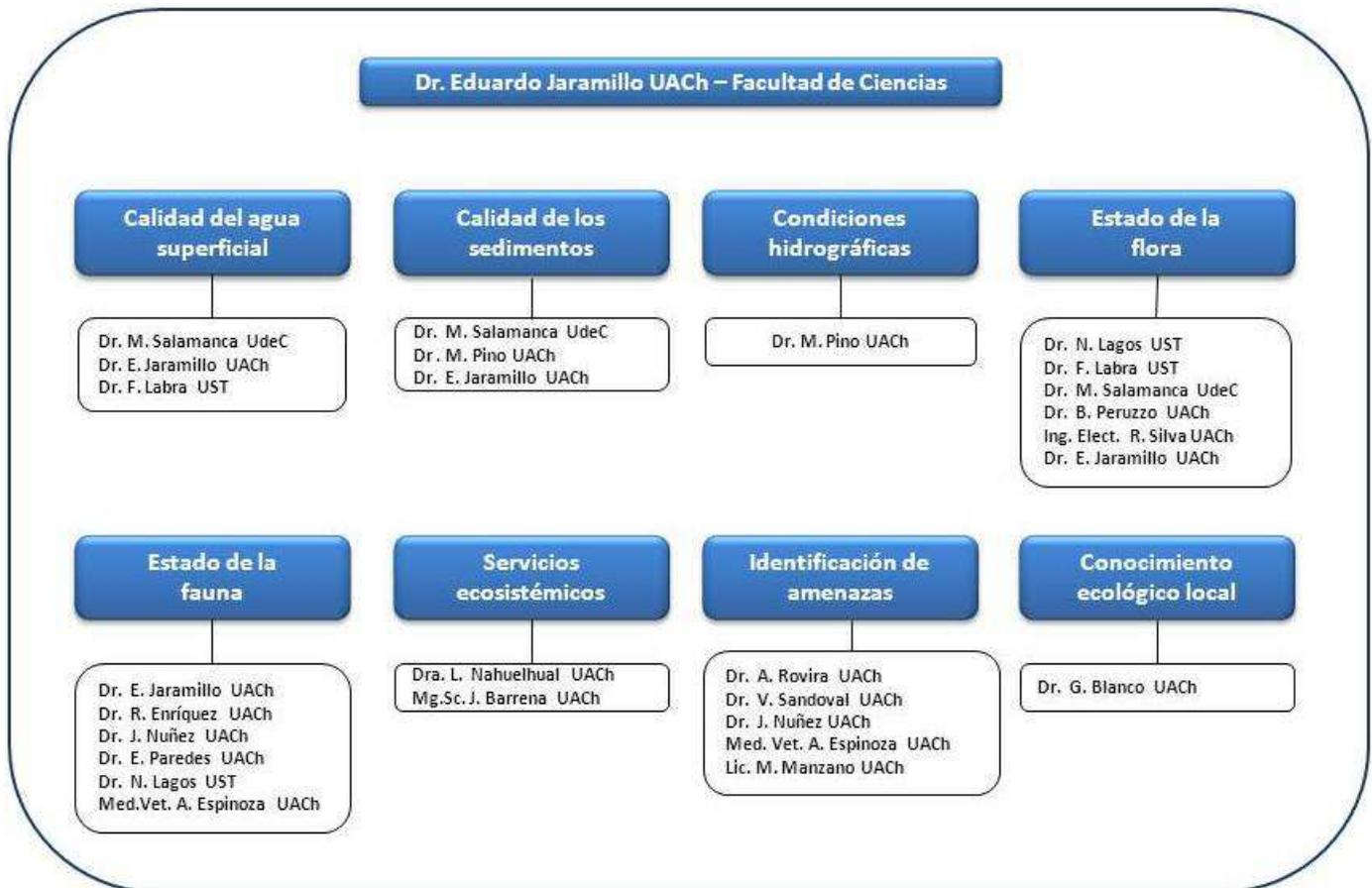
Dr. Gustavo Blanco

**Universidad de Concepción*****Facultad de Recursos Naturales y Oceanográficos***

Dr. Marco Salamanca

**Universidad Santo Tomás, Santiago*****Departamento de Ciencias Básicas***

Dr. Fabio Labra  
Dr. Nelson Lagos



**Figura 18.** Investigadores participantes en el Programa de Diagnóstico y componentes del mismo a los cuales están asociados.