



INFORME FINAL
DISEÑO DEL INVENTARIO NACIONAL DE HUMEDALES Y EL SEGUIMIENTO
AMBIENTAL

(N°1588-28-LP10)

Enero 2011



Como citar este documento:

MMA - Centro de Ecología Aplicada. 2011. Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Santiago. Chile.164 pp.

ÍNDICE

Resumen Ejecutivo.....	5
1. Introducción.....	9
1.1 El rol de los humedales.....	11
1.2 Catastro Nacional de Humedales.....	14
1.3 El uso de los sensores remotos en el Catastro Nacional de Humedales	15
2. Objetivos.....	20
2.1 Objetivo general.....	20
2.2 Objetivos específicos.....	20
2.3 Alcances.....	21
3. Metodología.....	25
3.1 Elaboración del catastro nacional de humedales.....	25
3.1.1 Definición de unidad geografica operacional.....	25
3.1.2 Definición de escala, resolución espacial y conjunto básico de datos para el catastro nacional de humedales.....	26
3.1.3 Criterios para delimitación de humedales .28	
3.1.4 Metodologia de detección de humedales mediante sensores remotos	28
3.1.5. Utilización de imágenes multiespectrales Landsat.....	29
3.1.6 Procedimiento de Calibración del Catastro de Humedales.....	34
3.2 Información relevante para determinar la condición ambiental de los humedales....	34
3.2.1 Definición condición ambiental de humedales.....	34
3.2.2 Identificación de tipo de amenazas.....	34
3.3. Determinación del rol de los humedales como indicador del estado ambiental de los recursos hídricos a nivel de cuenca.....	36
Enfoque conceptual.....	36
Criterios para la localización de humedales a nivel de cuenca.....	36
Indicadores estado según Ecotipos.....	36
3.3.4. Estudio experimental humedales piloto.....	36
3.3.4.1 Criterios de identificación y delimitación de humedales piloto.....	36
3.3.4.2 Variables estado de humedales pilotos como descriptores de la condición de los recursos hídricos a nivel de cuenca.....	37
3.3.4.3 Detección de humedales piloto.....	38
3.3.4.4 Evaluación del estado ambiental de los humedales piloto.....	42
4. Resultados.....	43
4.1 Catastro Nacional de Humedales.....	43
4.1.1 Identificación de humedales a nivel nacional.....	43
4.1.2 Calibración del catastro.....	56



4.2	Condición ambiental de los humedales.....	60
4.2.1	Modelo conceptual.....	60
4.2.2	Tipos de amenazas.....	61
.		
4.3	Rol ambiental de los humedales como indicador a nivel de cuenca.....	63
4.3.1	Modelo conceptual.....	63
4.3.2	Indicadores de estado según Ecotipos.....	66
4.3.3	Criterios para localización de humedales indicadores a nivel de cuenca.....	67
4.3.4	Estudio experimental de humedales piloto.....	68
4.3.4.1	Detección de humedales pilotos.....	68
4.3.4.2	Criterios de identificación y delimitación de humedales pilotos.....	69
4.3.4.3	Evaluación del estado ambiental de los humedales piloto.....	76
.		
5.	Conclusiones.....	88
5.1	Catastro de humedales	88
5.2	Condición ambiental de los humedales	88
5.3	Rol ambiental de los humedales como indicador a nivel de cuenca	88
6.	Recomendaciones.....	89
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	90
.		
8.	Equipo de trabajo.....	94
9.	Agradecimientos.....	93
10.	Glosario.....	94
ANEXOS.....		98
.		
	Anexo 1: Síntesis revisión documentaria internacional acerca de los humedales.	
	Anexo 2: Estado actual en materia de humedales en Chile.	
	Anexo 3: Cuadros resumen clasificación Ecotipos.	
	Anexo 4: Tramos Río Aconcagua.	
	Anexo 5: Caracterización limnológica del río Aconcagua.	
	Anexo 6: Caracterización de la flora y vegetación asociada a tramos del río Aconcagua	

RESUMEN EJECUTIVO

Durante años se ha hablado mucho sobre la amenaza que nuestros recursos naturales están enfrentando ante el crecimiento de la población y economía mundial, patrones de uso de los recursos naturales, baja en las reservas de agua, procesos de desertificación, pérdida de biodiversidad, desastres naturales y calentamiento global.

En el marco de lo anterior, numerosas reuniones internacionales y resoluciones en el marco de convenciones multilaterales acerca de recursos tales como humedales, biodiversidad, suelos, condición de cambio climático entre otros, han dado las directrices para abordar estos fenómenos con objetivos planetarios.

A nivel mundial los avances son dispares, los países desarrollados y aquellos donde organismos internacionales han dado prioridad, van pasos más adelante en las medidas que internacionalmente se han acordado para hacer frente a los problemas ambientales. De ello surge una abultada literatura y de gran apoyo en el camino a la consolidación de sistemas y herramientas de gestión.

Chile ha avanzado mucho, pero aún adeuda en ciertas áreas la consolidación de sistemas integrados de evaluación y gestión de recursos, como las directrices globales aconsejan.

La materia del presente trabajo se enmarca particularmente en el subtema humedales y corresponde a la primera etapa de catastro, de una iniciativa mayor de Inventario Nacional de Humedales que busca consolidar una herramienta de evaluación del recurso a nivel nacional, destinada a ser un instrumento de apoyo a los planes y programas de conservación y/o protección.

A nivel internacional existe ya un interesante historial de proyectos en países de Europa, América, Asia, Oceanía que dan cuenta de una larga trayectoria en la implementación de sistemas de integración en la gestión de humedales incluso de orden transnacional, todos ellos contando de base con inventarios nacionales. La Convención Internacional de Ramsar destaca en su manual N° 12 "Inventario de Humedales" las iniciativas de MedWet Humedales Mediterráneos (desde 1991), Inventario Nacional de Humedales de los Estados Unidos (desde 1950), Programa Nacional de Humedales de Uganda (desde 1999), Inventario de Humedales de Asia (desde 1954), Inventario de Humedales del Ecuador (desde 1996). En el marco de la misma Convención, desde la primera reunión de las partes contratantes en 1971 (1981 Chile ratifica su adhesión y la transforma en ley) se define como de importancia fundamental para el desarrollo de las políticas nacionales destinadas a la conservación o protección de RRNN, el contar con un inventario del mismo orden. Complementariamente, uno de los últimos elementos incorporados en la promoción de aquellos, se relaciona con orientaciones respecto al método e insta a las partes a incorporar el uso de teledetección y SIG como herramientas de optimización de resultados.

Esto último ha sido también la consecuencia y al mismo tiempo el incentivo, de estudios de profundización en uso de tecnología satelital en la identificación de recursos naturales, su estado de vida, calidad, distribución y localización geográfica. Ejemplos son múltiples

entre los cuales podemos mencionar: “Revisión de mapeo de Ealgrass”, del Servicio del medio Ambiente para la Vida Salvaje de Canadá donde se estudia, ya en el año 2002, alternativas para monitorear y mapear un tipo de pasto submareal a través de sensores remotos; la Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de Queensland, en Australia, desarrolla en el 2005 un marco general metodológico para el Mapeo y Clasificación de Humedales, buscando responder a la urgencia de identificar las pérdidas de humedales que estaban experimentando. Revisan para ello técnicas de restitución cartográfica de cuerpos de agua a través del procesamiento de imágenes de satelitales, en particular del tipo Landsat TM; la Universidad de Aberystwyth del Reino Unido en conjunto con la Agencia Espacial de Japón estudiaron, en el año 2008, un método alternativo para cubrir el registro de humedales a escala regional con mayor detalle, aplicando la conjunción de dos herramientas de percepción remota: ALOS PALSAR y Shuttle Radar Topography Mission, logrando estimar algunos parámetros físicos de distintos ecosistemas, su clasificación estructural y registro de cambios a través de sensores remotos; en Vietnam, Thi Phuong Mai Luu desarrolla en el marco de su tesis de Magister el año 2009 un “Estudio de hábitats húmedos usando varias técnicas de clasificación basadas en imágenes multiespectrales Landsat”. Variada literatura también es posible encontrar respecto a los cuerpos de gestión de humedales y los diferentes niveles de desarrollo y aplicación en el mundo.

En Chile, por su parte, existen numerosas experiencias que han tenido entre sus metas esenciales dar solución a disfuncionalidades e impactos negativos sobre sistemas acuáticos continentales. Los protagonistas abarcan una amplia gama de actores nacionales, desde organismos de gobierno, académicos, estudiantes, sociedad civil y empresas privadas, en ámbitos diversos pero directamente vinculados, como calidad de agua, dinámica de ecosistemas, biodiversidad, estructura de hábitats, etc.

Algunos ejemplos de ellos son los trabajos de: Castro y colaboradores en 1993, quienes realizan un catastro de humedales sobre los 3000 msnm entre 17° y 26° Lat S., actualizado el 2003; Muhlhauser en 1996 estudia y caracteriza el hábitat del bofedal de Parinacota; Una alianza en 1999 entre CONAMA y CONAF desarrolla un catastro que abarca alrededor de 4,5 millones de has de humedales del país, 6% del territorio nacional, evaluando su vínculo con el SNASPE; el 2000 la CONAMA lidera un proyecto de catastro de humedales en la VII Región que es considerado uno de los más completos a escala regional en el país; en el 2002 Ramírez y colaboradores elaboran una clasificación de humedales vinculada a la variable clima; el mismo año Haustein y equipo escriben acerca de los humedales de la IX Región elaborando una clasificación en base a RAMSAR y estableciendo niveles de vulnerabilidad asociados a las especies registradas; En el 2003 la DGA elabora y cartografía 228 acuíferos que alimentan vegas y bofedales de la región de Antofagasta. En la actualidad esta actividad ha cubierto la Región de Arica y Parinacota y Atacama; el 2005 La Corporación de Ambientes Acuáticos de Chile elabora un catastro del sistema de humedales costeros de Coquimbo, estudiando estructura de hábitats y evaluando vulnerabilidad de especies, así como elementos de gestión y jurisdicción; el mismo año González y Victoriano estudiaban el hábitat y dinámica de algunos humedales en la VIII Región; como una herramienta para evaluación preliminar y priorización en el monitoreo a humedales, CONAMA-CEA proponen el 2006 una clasificación de humedales por Ecotipos basándose en asociación de variables correlacionadas con la estructura y funcionamiento de familias de humedales; en el 2007 CONAMA elabora un catastro preliminar de humedales costeros para las regiones IV, V, VII, VIII y IX; el 2009 Ahumada y Faúndez, por encargo del SAG elaboran una guía descriptiva de sistemas vegetacionales azonales hídricos continentales de la ecorregión

altiplánica, así mismo la lista sigue, iniciativas de catastros, estudios de hábitat, ecosistemas, flora fauna, etc. en el mayor de los casos limitados a superficies interregionales.

No obstante el enorme aporte que ha significado cada una de estas iniciativas en la protección, conocimiento y reconocimiento del patrimonio natural nacional, también se debe convenir en la condición de baja eficiencia, en términos de integración de objetivos, metas y recursos involucrados, ante un fin último que es en definitiva común. Para garantizar la protección o conservación de los humedales del país se requiere necesariamente de una evaluación y manejo desde el prisma de integración elemental.

Con todo, en la tarea de proteger y conservar, debemos conocer el universo desde donde elegimos qué proteger o qué preservar. Al evaluar necesitamos detalles para analizar. Y para priorizar, debemos irremediamente comparar. En ello surge un requerimiento fundamental y que tiene relación con dos factores, que aún cuando son de naturaleza diferente, se definen como determinantes en la estructura, funcionamiento y factibilidad de un sistema de gestión del recurso. Uno de ellos corresponde a las características geofísicas y patrones ocupación de los territorios, el otro, al sistema de administración y gobierno al interior del Estado. En ambos casos aquel requerimiento fundamental corresponde a la referencia espacial de los recursos, su localización dentro de la estructura de paisajes del territorio nacional y dentro de las competencias de administración en las diversas escalas territoriales. Es aquí donde un catastro nacional de humedales toma protagonismo y cumple un rol esencial en la priorización y planificación dentro del manejo, más aún cuando la tecnología actualmente disponible permite contar con la cartografía completa de la estructura espacial del recurso e incluso con variables básicas para estimación del estado de salud de un cuerpo de agua.

Lo mencionado en el último párrafo toca otro punto de gran importancia en el desarrollo de los objetivos del presente trabajo. La tecnología de punta que el Gobierno de Chile ha escogido para administrar el país, plasmada en la política pública y en programas como modernización del Estado y lineamientos programáticos de los servicios vinculados al desarrollo científico y productivo del país, nos dan el marco y un estándar mínimo en torno a los procedimientos, a las herramientas a ser incorporadas en el método para abordar en este caso particular, un sistema integrado de información de humedales.

El uso de sensores remotos se ha consolidado como una metodología rápida e incluso bastante económica en algunos casos, que permite dar factibilidad a proyectos de envergadura nacional, que de otra manera simplemente no podrían llevarse a cabo. La factibilidad del uso de estas herramientas hoy en nuestro país, configura la condición necesaria para poder implementar proyectos pendientes de muchos años, como es un catastro e inventario nacional de humedales con el objetivo de consolidar herramientas de apoyo a la gestión integrada del recurso.

Es así que actualmente, contando con la factibilidad técnica, administrativa y financiera, el Ministerio del Medio Ambiente (ex - CONAMA) ha emprendido la tarea de levantar una herramienta de apoyo a gestión nacional de humedales, desarrollando el proyecto de Inventario Nacional de Humedales en etapas consecutivas, teniendo como foco principal en esta primera fase la generación del catastro nacional de humedales.

De la revisión y evaluación de experiencias a nivel internacional, del estado del arte del estudio de humedales en Chile y tecnologías de punta a disposición del aparato público,

se desarrolló una metodología para la identificación de humedales centrada en el uso de herramientas de Percepción remota y Sistemas de información geográfica. Utilizando Imágenes Landsat, Imágenes hiperespectrales AISA, coberturas digitales complementarias, Envi 4.2 y Arcview 9.2, en un plazo menor al año, el país hoy puede contar con la cobertura nacional de humedales de Chile -incluidos lagos, lagunas, ríos, embalses y vegetación hidrófila mayor a 0.4 ha de superficie- y una metodología en explotación que le permitirá técnicamente a un corto y mediano plazo, comenzar a cubrir tareas de evaluación, manejo y control en el uso de los humedales en el marco de un sistema de alerta temprana, sustentado en el establecimiento de humedales indicadores del estado de la cuenca, indicadores remotos de eutroficación, cobertura de agua y vegetación y el monitoreo de sus variables de estado por Ecotipo.

La estructura del trabajo entrega, en un primer capítulo introductorio, antecedentes específicos del contexto global del “proyecto mayor” de inventario y sistema de gestión de humedales en el que se enmarca, definiendo el marco conceptual donde se desarrolla, los componentes que involucra y su justificación. En el segundo capítulo se exponen los Objetivos, el fin último que persigue el “proyecto mayor” y los objetivos específicos de esta fase del proyecto. El tercer capítulo presenta la metodología con la cual se desarrolla el catastro nacional de humedales y el estudio experimental para el levantamiento de variables físico-químicas básicas que permitan estimar las características ecológicas y estado de salud de una cuenca piloto bajo una perspectiva ecosistémica, con el objetivo de ejemplificar el paso siguiente en la completitud del Inventario Nacional de Humedales. En el cuarto capítulo se presentan los Resultados, para continuar en el quinto y sexto con Conclusiones y Recomendaciones. Finalmente los últimos capítulos auxiliares presentan las referencias bibliográficas, equipo de trabajo, agradecimiento, glosario y Anexos.

1. INTRODUCCIÓN

Conservar la biodiversidad es uno de los desafíos presentes en la agenda pública, como lo expresa el mensaje con el cual se comienza a tramitar la hoy promulgada Ley 20.417 que, en vigencia desde Enero del 2010, entrega las bases legales para la creación del Ministerio, Servicio y Superintendencia del Medio Ambiente: “Los nuevos desafíos a los que el mundo se verá confrontado en los próximos años, muchos de los cuáles ya están presentes entre nosotros, son el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la escasez de agua, la contaminación y la calidad de vida de los ciudadanos. No actuar hoy tendrá efectos significativos en nuestro desarrollo económico futuro, pero además, en la calidad de vida de nuestros habitantes.”

Por otra parte la Política Ambiental de Desarrollo Sustentable¹ señala: “La estrategia de desarrollo sustentable de Chile está basada en generar las condiciones básicas que permitan compatibilizar el proceso de crecimiento económico del país, con la protección del medio ambiente y el uso sustentable de los recursos naturales, en un contexto de equidad social y económica”. Su objetivo es el mejoramiento equitativo de la calidad de vida de los chilenos de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras.

Respaldao dicha estrategia, uno de los fundamentos explícitos de la Política es el de complementariedad entre desarrollo económico y sustentabilidad ambiental para garantizar el bienestar de los ciudadanos a través de la disponibilidad adecuada, en cantidad y calidad, de recursos para el desarrollo. Respondiendo a ello, como tercer objetivo planteado en la Política Ambiental, se manifiesta la necesidad de “Fomentar la protección del patrimonio ambiental y el uso sustentable de los recursos naturales” para lo cual define como una de sus líneas de acción el “desarrollo de inventarios de especies de flora y fauna; y la formulación de planes de manejo que regulen el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables”. Todo ello se traduce indiscutiblemente en el reconocimiento de la necesidad prioritaria de generar un saber científico ambiental que apunte a definir, evaluar y valorizar nuestro capital en recursos naturales.

Con el fin de implementar la Política Ambiental y la Estrategia Nacional de Biodiversidad y dar cumplimiento a compromisos internacionales en el tema, en el año 2004 se inicia el Programa de Recursos Naturales y Biodiversidad, a cargo del Departamento de Recursos Naturales de la Comisión Nacional de Medio Ambiente.

El programa se ha desarrollado fundamentalmente a través de cuatro componentes, a saber:

- Seguimiento, coordinación y evaluación de la Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad.
- Coordinación y ejecución del Plan de Acción de la Política Nacional de Áreas Protegidas.
- Coordinación y ejecución del Plan de Acción de la Política de Especies Amenazadas (Flora y Fauna Nativa).

¹ Una Política Ambiental Para El Desarrollo Sustentable. Aprobado por el Consejo Directivo de Ministros de CONAMA en la Sesión del 9 de enero de 1998. CONAMA.
En: http://www.sinia.cl/1292/articles-26000_pdf_politica.pdf

- Coordinación y ejecución del Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Humedales

En el marco de estas cuatro líneas, un elemento común aparece como fundamental para avanzar en el cumplimiento de los objetivos planteados en cada uno de los instrumentos de gestión que los dirigen, este es el Inventario de Flora, Fauna, Ecosistemas y Hábitats.

Por su parte, abordando otro ámbito del desafío en cuestión, el Ministerio Secretaría General de la Presidencia – MINSEGPRES, en su informe último de evaluación del Programa de Recursos Naturales y Biodiversidad enviado a la Dirección de Presupuestos del Ministerio de Hacienda (disponible en www.dipres.cl)² proyecta en el mediano plazo contar con mayores recursos financieros para llevar a cabo la mantención de un inventario en todas sus fases, lo que es aprobado por DIPRES al encontrar justificación presupuestaria en la necesidad de “generar y/o completar la información que permita conocer el estado de conservación de los ecosistemas y especies del país a objeto de avanzar en la implementación y coordinación de las acciones que contribuyan a la protección y uso sustentable de la biodiversidad” (DIPRES, 2008)³. Es así que desde el proyecto presupuestario del 2008 los aportes al Programa de RRNN y Biodiversidad han registrado un crecimiento positivo constante y una revisión en su estructura que se prevé traerá cambios favorables.

El Estado de Chile no cuenta con un Inventario Nacional de Humedales reconocido como oficial por los diferentes usuarios del mismo. La realización de catastros existentes, obedece particularmente a las necesidades sectoriales de quienes los elaboran y por lo tanto no hay cobertura para todos los subsistemas y tampoco requerimientos estandarizados de monitoreo ecológico que permita dar cuenta del estado de salud, evolución y cambios en los ecosistemas, ya sean estos de origen antrópico o natural. En consecuencia tampoco es posible distinguir entre humedales de urgencia para su conservación y aquellos otros que entregan variados bienes y servicios, desconociendo su cuantía y oportunidades de uso sostenible. Como plantea la Estrategia Nacional para la Conservación y uso racional de los humedales en Chile “Desde el extremo norte de nuestro país hasta cerca de Santiago las cuencas hidrográficas son deficitarias en agua. Es decir, son zonas áridas o semiáridas, en que los humedales constituyen una situación excepcional. Más al sur los humedales son cada vez más frecuentes y continúan concentrando las actividades humanas. El aumento de nuestras actividades productivas y de nuestra población presionan esos espacios húmedos”.

Lo anterior nos define una ardua y extensa tarea por delante de reconocimiento, conocimiento, sistematización e integración de datos nacionales. Sujeto a viabilidad, el Ministerio del Medio Ambiente⁴ ha decidido la elaboración de un proyecto que integre los esfuerzos de diversos actores tendientes a levantar información que caracterice humedales en el país y que permita que Chile cuente con un inventario y monitoreo permanente de los humedales. El Proyecto para el desarrollo de un Inventario, monitoreo y seguimiento ambiental elaborará las herramientas necesarias para fortalecer la nueva institucionalidad ambiental, centrándose en una primera etapa en el catastro de

² Informe de Cumplimientos de Compromisos al 30-06-2009 del Programa de RRNN y Biodiversidad, CONAMA, MINSEGPRES, 2009

³ Minuta Ejecutiva, Programa de RRNN y Biodiversidad elaborada por la Dirección de Presupuestos, Ministerio de Hacienda.

⁴ Ley 20417, Octubre 2010

superficies continentales saturadas de agua y algunos criterios de priorización. Es así que el objetivo del presente trabajo es en esencia, el materializar la primera etapa del Inventario Nacional de Humedales con la construcción de los cimientos del sistema de información de humedales del país para su manejo sustentable y/o conservación, lo que considera la creación de la cobertura digital nacional de los territorios húmedos del país, complementada con una definición preliminar de criterios de elección de humedales indicadores del estado de la cuenca y variables estado, vinculados a la clasificación nacional de Ecotipos. La visión a largo plazo es que Chile cuente con un sistema público de inventario y seguimiento ambiental de los humedales relevantes, para la planificación, manejo, conservación (uso sustentable), preservación o protección de los humedales de Chile, a escala nacional, regional y local.

1.1 El rol de los humedales

En un marco conceptual, los humedales son ecosistemas acuáticos integrados a las cuencas hidrográficas, como subsistemas límnicos de éstas. Ecosistemas que mantienen economías locales, a través de los bienes y servicios que prestan. Es reconocido el rol destacado que tienen estos en el desarrollo de las actividades humanas, entregando alimentos, refugio para la población humana, especies animales y vegetales y obtención de agua fresca, entre otras. Reconocida esta importancia vital, convenciones internacionales ratificadas por Chile (Convención Internacional sobre Humedales Ramsar-1980 y la Convención sobre la Diversidad Biológica CDB-1994) recomiendan que la preocupación sobre los humedales se traduzca, entre otras medidas, en la elaboración de inventarios y un programa de monitoreo que permita realizar un seguimiento de la dinámica de cambio que estos presentan.

El complejo entrelazamiento de procesos vinculados a las aguas continentales y aquella dependencia del ser humano plasmada en los patrones de localización de la población, han definido una dinámica ambiental, tanto natural como determinada por la acción humana, que hoy se hace prioritario identificar, conocer en detalle y evaluar. Como se menciona en la Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Racional de los Humedales en Chile “Los habitantes de nuestro país han ubicado y ubican su residencia en esos ambientes húmedos por siglos. En ellos encuentran agua fresca, alimentos o lugares para crianza de animales domésticos, pesca o caza. La mayoría de nuestra población se encuentra en la franja costera de nuestro país, a orilla de ríos o esteros o en la desembocadura de los mismos. Hacia el interior de nuestro país ocurre el mismo patrón de comportamiento, concentrándonos en los bordes de ríos, esteros, lagos o lagunas”.

En el plano internacional la preocupación se ha visto plasmada en una serie de iniciativas en pos de detener y revertir, en la medida de lo posible, los impactos producidos por la excesiva, y muchas veces ignorante, presión que el hombre ejerce sobre sus recursos naturales. Dentro de aquellas, la propuesta de “Ecosistemas del Milenio”⁵, a la que Chile se encuentra adscrito, considera ocho objetivos de desarrollo a ser alcanzados por la comunidad internacional al año 2015. Estos Objetivos representan las necesidades humanas y los derechos básicos que todos los individuos del planeta deberían poder disfrutar y entre los que se define: Objetivo nº7 “un mundo en el que la sostenibilidad del medio ambiente sea una prioridad”. Los líderes mundiales también han prometido forjar una alianza de alcance mundial en pos del desarrollo, para así lograr esos objetivos universales.

⁵ Objetivos de Desarrollo del Milenio, UN. NY, 2000.

Sumándose a las acciones destinadas a cumplir dichos objetivos, durante el año 2010, la comunidad internacional se reunió, en el marco de la Convención para la conservación de la Biodiversidad, para discutir y replantear alternativas para el cumplimiento de las metas propuestas⁶. Entre los temas principales de la agenda estuvieron los diagnósticos parciales en torno a:

- El mundo no ha alcanzado la meta de 2010 de conservación de la biodiversidad, con posibles consecuencias muy graves.
- Los hábitats de las especies en peligro no están siendo adecuadamente protegidos.
- La cantidad de especies en peligro de extinción sigue creciendo a diario, especialmente en países en vías de desarrollo.

En dicha reunión, se menciona “unos 3.000 millones de personas dependen del mar y sus costas, 1.600 millones de los bosques y 1.000 millones de los humedales (Ovando, 2010)⁷, lo que supone más del 70 % de la población mundial. Adicionalmente el replanteamiento de los objetivos de la convención derivó en compromisos de los 198 países firmantes sobre biodiversidad para el 2020 y se aprobaron 30 documentos sobre la conservación de la diversidad biológica de las montañas, de las aguas continentales, y de las tierras áridas y subhúmedas.

Los humedales han sido considerados de gran importancia biológica a nivel global y se encuentran dentro de los ecosistemas más importantes del planeta (Mitsch & Gosselink, 2000). No obstante la *Evaluación del Estado de Conservación de las Regiones Terrestres de América Latina y el Caribe*, señala el estado de conservación como crítico a vulnerable ya en la década del 90 (WWF & WB, 1995). Las amenazas a estos ecosistemas ponen en riesgo a los humedales puesto que son altamente vulnerables y frágiles, particularmente frente a las presiones del desarrollo basadas en prácticas no sostenibles y al cambio climático (Grupo de Contacto sobre Humedales Altoandinos & UICN Sur, 2004).

De igual forma, han sido considerados por la Convención de *Ramsar* como ecosistemas frágiles. Su alta vulnerabilidad está asociada a causas naturales (ejemplo: extensas sequías) y antrópicas. De estas últimas las causas más relevantes -que llevan a la degradación de estos humedales- son: la extracción de agua para usos agrícolas y mineros, la fragmentación de los sistemas acuáticos, los intensos procesos de urbanización, las quemadas, la contaminación y la construcción de grandes obras de infraestructura, además del alto crecimiento de la población humana y una sectorizada y poco integral planificación del desarrollo (Abramovitz, 1996; Rangel, 2000, Canevari et al, 2001 Hofstede et al, 2003; Grupo de Contacto sobre Humedales Altoandinos & UICN Sur, 2004).

Los humedales sustentan una importante diversidad biológica y se caracterizan por un alto nivel de endemismo de plantas y animales. Estos en muchos casos, constituyen ambientes críticos para especies seriamente amenazadas además de servir de áreas de refugio de muchas especies migratorias (Salinas *et al.*, 2002).

6 Convención de biodiversidad (CDB) COP10, Nagoya-Japón 18 al 29 Octubre 2010

7 Norberto Ovando. Experto Comisión Mundial de Áreas Protegidas - WCPA - de la UICN. Red Latinoamericana de Áreas Protegidas - RELAP y Miembro Comisión Cuenta Atrás 2010 - UICN

El principal bien que proveen los humedales es el agua y algunas de las más relevantes funciones ecosistémicas y servicios ambientales están también asociados a los recursos hídricos. Precisamente, uno de los más importantes servicios es el abastecimiento constante de agua dulce para riego de suelos agrícolas, generación hidroeléctrica y consumo humano. En efecto, varias ciudades dependen de los humedales debido a estos fundamentales servicios.

Es importante señalar que los bienes y servicios ambientales que proporcionan los humedales no son ilimitados y que la degradación de estos ecosistemas acarrea la pérdida no sólo de fuentes esenciales de agua sino de otros múltiples beneficios que ofrecen dichos ambientes. Por ello, si queremos continuar aprovechándolos, debemos conservarlos y su uso no debería rebasar los límites del umbral crítico, mas allá del cual su deterioro se hace irreversible.

En la misma línea conceptual, la propuesta antes mencionada de “Ecosistemas del Milenio”, define los servicios ambientales ecosistémicos como los beneficios que las personas pueden obtener desde ellos (**Tabla 1.1**), incluyendo los servicios de suministro, regulación, culturales y aquellos necesarios para mantener los procesos ecológicos (soporte).

Tabla 1.1: Servicios ecosistémicos.

Suministro de Servicios	Regulación de Servicios	Servicios Culturales
Productos obtenidos desde los ecosistemas	Beneficios obtenidos de los procesos de regulación de los ecosistemas	Beneficios no Materiales obtenidos de los ecosistemas
<ul style="list-style-type: none"> • Alimento • Agua potable • Combustible • Fibra vegetal • Bioquímicos • Recursos genéticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación de clima • Control de enfermedades • Regulación del agua • Polinización 	<ul style="list-style-type: none"> • Espirituales y religiosos • Recreación y turismo • Estético • Inspiracional • Educativo • Sentido de identidad • Patrimonio cultural
Servicios de soporte		
Servicios necesarios para la producción de todos los otros servicios del ecosistema		
Formación de Suelos	Ciclado de Nutrientes	Producción Primaria

Fuente: Ecosistemas del Milenio

En Chile, las iniciativas que por décadas han planteado estudios y planes locales de manejo en humedales, aún cuando adolecen de desarticulación, nos reflejan que el interés y preocupación por el futuro de estos recursos tiene su historia y marcada importancia en el ámbito local, (antecedentes específicos de marco institucional vinculado y estudios desarrollados en Anexo 2).

Así mismo, Estados extranjeros reflejan la valoración por los ecosistemas húmedos en una vasta experiencia en aplicación de métodos de levantamiento de información, así como de gestión integrada de ellos (ver Anexo 1).

Con todo, la abultada literatura tanto chilena como extranjera, hacen coincidente entre sus antecedentes que la primera etapa de cualquier sistema sólido de gestión debe estar fundamentalmente centrada en el reconocimiento espacial de estos recursos y sus características claves que permitan establecer en algún grado su condición ambiental y, bajo este precepto es que se reconoce la importancia y esencial tarea del desarrollo de una etapa inicial de catastro de los humedales del país.

1.2 Catastro Nacional de Humedales

Como se expresa en líneas precedentes unos de los elementos fundamentales de un inventario de humedales, así como del sistema de gestión vinculado, es un Catastro de humedales.

El concepto catastro ha estado comúnmente asociado al levantamiento de datos respecto a propiedad de los territorios. Incluso la Real Academia Española reduce el concepto en su publicación web al de “censo y padrón estadístico de las fincas rústicas y urbanas”. Sin embargo, el concepto ha trascendido su inicial actividad y hoy es posible encontrarlo asociado a elementos de toda área del conocimiento. En ocasiones también es posible reconocerlo como inventario y en otras incluso como conteniendo al inventario. No obstante, nuestro objetivo por ahora no es profundizar en las distintas acepciones del concepto si no sólo establecer cual será el contenido que para efectos de este proyecto, considera el catastro nacional de humedales y que en su expresión máxima se configura como el levantamiento geográfico de todos los cuerpos de agua del territorio nacional continental y sus islas mayores bajo los parámetros presentados en la síntesis conceptual del proyecto.

Antes nos referimos al consenso internacional en cuanto a lo urgente que se hace conocer las características ecológicas, la estructura y las relaciones entre los componentes biológicos, químicos y físicos del humedal y para ello la generación de un “Inventario de Humedales” que permita su evaluación y seguimiento en el tiempo en apoyo a la gestión del recurso. Así, un elemento fundamental aparece en el punto de partida de este inventario, para que éste pueda cumplir su fin último de consolidar un sistema integrado de seguimiento ambiental de humedales vinculados a las estrategias de conservación y la toma de decisiones en planificación territorial a escala país: el Catastro nacional de humedales.

En la tarea de proteger y conservar, el Catastro permitirá contar con el universo desde donde elegir qué proteger o qué preservar, elementos básicos y sus características para evaluar, así dará cabida al análisis comparativo de los elementos para priorizar a escala país. Además de ello, su carácter territorial permite vincular el recurso con bases de datos espaciales pre-existentes en apoyo a su evaluación (características geofísicas, patrones de ocupación del territorio, actividades productivas, etc.) y fundamentalmente con el sistema de administración de los territorios locales y regionales, aspectos de gran importancia al momento de definir la operatividad de un sistema de gestión. Con éste

instrumento el país podrá además sumarse al llamado que la convención Ramsar⁸, por más de una década, ha hecho promoviendo la implementación de “indicadores de alerta temprana”⁹ para la conservación de los humedales.

1.3 El uso de los sensores remotos en el Catastro Nacional de Humedales

Existe una importante diversidad de estudios en torno a la percepción remota y uso de Imágenes de satélite para la identificación de Humedales. Oyola en el año 2009, plantea en el marco de una investigación de tesis, que el mapeo de humedales es una herramienta importante para el entendimiento de la función y el monitoreo de las respuestas de estos sistemas a las acciones naturales y antrópicas. Por otra parte reconoce la existencia de tres técnicas principales para cartografiar los humedales, las cuales son: evaluaciones in situ (tarea que es a veces difícil por la inaccesibilidad a las áreas de estudio); fotointerpretación de fotografías aéreas y procesamiento de imágenes teledetectadas aéreas o satelitales.

En el mismo trabajo se plantea que el uso de imágenes satelitales puede servir como apoyo para la gestión y planificación de esquemas de manejo cuando se combina con otro tipo de información. Además, su utilización puede ser una alternativa viable y rápida de acceder a información espacial extensa de lugares inaccesibles, haciendo de la percepción remota una herramienta invaluable para la identificación de humedales. En este marco es que cita a Vegas (2006), quién menciona que debido a ello es que la Convención de Ramsar recomienda el uso de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica para la cartografía de zonas húmedas (otros antecedentes en anexo 1).

Otras citas de relevancia que fundamentan el uso de teledetección en el reconocimiento y evaluación de humedales y que sustentan el trabajo de Oyola son las siguientes:

Smith (1997) quien concluye respecto a que los sensores remotos han probado ser útiles en estudios ecológicos, de hidrología y geomorfológicos. También señala que las bandas en el rango de amplitud visible y del infrarrojo cercano, que poseen las imágenes Landsat,

8 Cuerpo internacional más sólido sobre conservación de humedales desde 1971. En 1981 Chile ratifica su adhesión a la Convención de Humedales Ramsar y la transforma en Ley.

9 En relación a ellos, la declaración oficial de la Convención Ramsar presenta dos definiciones claves en el entendimiento de esta estrategia recomendada, a saber:

1. Las características ecológicas como la suma de los componentes biológicos, físicos y químicos del ecosistema del humedal y de sus interacciones, lo que en conjunto mantiene al humedal y sus productos, funciones y atributos y;
2. El cambio en las características ecológicas es el deterioro o desequilibrio de cualesquiera de los componentes biológicos, físicos o químicos del ecosistema del humedal o de las interacciones entre ellos, lo que en conjunto mantiene al humedal y sus productos, funciones y atributos.

Así el concepto básico de aquellos “indicadores de alerta temprana” es que los efectos se pueden detectar y que, de hecho, éstos son precursores de impactos ambientales reales o señalan su aparición. Si bien es posible que esta ‘alerta temprana’ no aporte forzosamente pruebas definitivas de degradación del medio ambiente en mayor escala, ofrece la posibilidad de determinar si se justifica intervenir o realizar otras investigaciones. Los indicadores de alerta temprana como tales se pueden definir como “las respuestas biológicas, físicas o químicas a un factor de tensión determinado, que preceden a la aparición de efectos que potencialmente pueden ser significativamente desfavorables en el sistema objeto de interés”.

Convención Ramsar, Resolución VII.10.

sirven para una buena delimitación de áreas inundadas cuando las nubes, los árboles o la vegetación flotante no oscurecen la superficie del agua.

Villeneuve (2005) quien plantea que el programa Landsat ha sido utilizado con éxito desde 1972 en diversos estudios, ya que las características técnicas de las bandas de este satélite permiten la discriminación de superficies inundadas y de vegetación.

Otros ejemplos de utilización de este sensor para la detección de cuerpos de agua y/o humedales, también citados por la autora son:

Baker (2006), diferentes estudios indican que las clasificaciones de imágenes Landsat otorgan mejores resultados que otros sensores satelitales para el mapeo de humedales. Además, señala que la exactitud de los métodos de identificación de humedales es apropiada para estudios a nivel de paisaje. El objetivo de su trabajo fue ayudar a una identificación rápida, exacta y técnicamente reproducible para mapear humedales y zonas riparianas a escala de paisaje utilizando imágenes Landsat ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus).

Hewitt (1990) demostró la utilidad de las imágenes Landsat TM (Thematic Mapper), por sus características espectrales y espaciales, para el inventario de ecosistemas riparianos.

Elvidge et al. (1998) utilizaron Landsat MSS (Multispectral Scanner) para obtener tendencias del vigor de la vegetación de humedales.

Colón-Ortiz (2004) utilizó imágenes Landsat TM e IKONOS, mediante índice de vegetación y clasificación no supervisada para determinar el estado de salud de regiones de humedales de la zona oeste de Puerto Rico.

France y Hedges (1986) encontraron áreas mínimas detectables de lagos de 0,6 ha con Landsat TM y de 2,4 ha con Landsat MSS.

Ausseil et al (2007) presentaron un método rápido para mapeo y priorización de humedales a escala regional que no requiere información de campo. Para ello utilizaron imágenes Landsat ETM+ y datos de las coordenadas (utilizando GPS) de humedales los que alimentaron un modelo de análisis de decisión multicriterio (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA). El modelo fue aplicado en Nueva Zelanda en la Región Manawatu-Wanganui, concluyendo que el método es lo suficientemente rápido para hacer un inventario de humedales para toda Nueva Zelanda (superficie: 268.680 km² aprox.) en un plazo de un año y sólo por una persona. El Departamento de Conservación de ese país adoptó este método para el primer inventario nacional de humedales.

En síntesis una serie de ventajas de las imágenes Landsat TM y ETM+ para el levantamiento y definición de límite de los humedales son establecidas por los estudiosos en el tema, entre las que se encuentran:

- Estas poseen una resolución espacial media de 30 metros (tamaño de píxel) y se caracterizan por presentar 7 bandas espectrales, tres bandas en el espectro visible, una banda en el infrarrojo cercano, dos en el infrarrojo medio y una en el infrarrojo térmico.
- Desde 2009 las escenas Landsat son de libre disposición y pueden ser descargadas en forma gratuita desde Internet en el sitio de la United States

Geological Survey (USGS). Con esto, además de poder obtener las escenas más recientes disponibles de esta serie, también se tiene acceso a imágenes de archivo, con una data disponible de más de 30 años, lo que puede ser de gran utilidad para estudios de líneas de base históricas de humedales y de vegetación.

- Otra ventaja es la resolución temporal de estas imágenes que es bastante frecuente con, un tiempo de revisita de 16 días del mismo lugar sobre la superficie terrestre, lo cual permitiría el seguimiento y monitoreo de los ecosistemas de humedales.
- Respecto a su resolución radiométrica, con las bandas que poseen las imágenes Landsat –o por combinación de éstas- se logra penetración del agua, discriminación de vegetación por tipo y vigor y determinación de zonas húmedas.
- En su trabajo Ozesmi (2002) señala que la tecnología Landsat MSS y TM están dentro de los mejores sistemas para el estudio de humedales, pero que clasificar humedales con imágenes de satélites es una tarea difícil.
- El desarrollar una metodología de identificación de humedales en imágenes satelitales, mediante técnicas geomáticas permitirá realizar catastros, con un buen balance costo –efectividad de extensas áreas para conservación a una resolución espacial constante.
- No obstante, y siendo consideradas las limitaciones reconocidas en la Landsat como por ejemplo en su precisión (esta aumenta sobre 2,5 has) asociada a su resolución (30 mts.), en las restricciones eventualmente generadas por cubiertas de nubes, entre otras, un número importante de investigadores son coincidentes en señalar el gran potencial de las imágenes Landsat para el desarrollo de catastros de vegetación y cuerpos de agua.

Por otra parte, en la tarea de precisar información a escala de sitio, entra en juego otra herramienta de percepción remota de gran utilidad: sensores hiperespectrales – como el AISA EAGLE – capaces de captar información de las características de la superficie terrestre simultáneamente en cientos de bandas espectrales adyacentes, con lo que se puede obtener información espectral continua del objeto teledetectado sin necesidad de recurrir a protocolos de extrapolación de mediciones puntuales (Paruelo, 2008). Lo anterior permite ampliar el rango de información para la interpretación de algún tipo de cobertura en particular, ya sea analizando cada banda separadamente o generando índices por combinación de estas.

Mediante el análisis de imágenes hiperespectrales es posible realzar la diferencia entre suelo, vegetación, cuerpos de agua u otro elemento del paisaje. Además la respuesta espectral se puede relacionar con productividad, estacionalidad, fenología, eficiencia de riego, estrés de la vegetación, identificación de especies forestales, riesgo de incendio, especies invasoras, variación temporal y espacial de hábitats terrestres y acuáticos, estado de plantaciones en función del tipo de suelo, discriminación de vegetación no fotosintéticamente activa, entre otros.

El análisis espectral de las bandas, de este tipo de sensores, permite diferenciar y encontrar contrastes no visibles para el rango de visión del ojo humano. Esto hace posible discriminar la fracción acuática de la terrestre, e identificar hábitat del sistema, como también capturar características físicas y algunos otros procesos químicos y/o biológicos dependiendo de la respuesta espectral que generen.

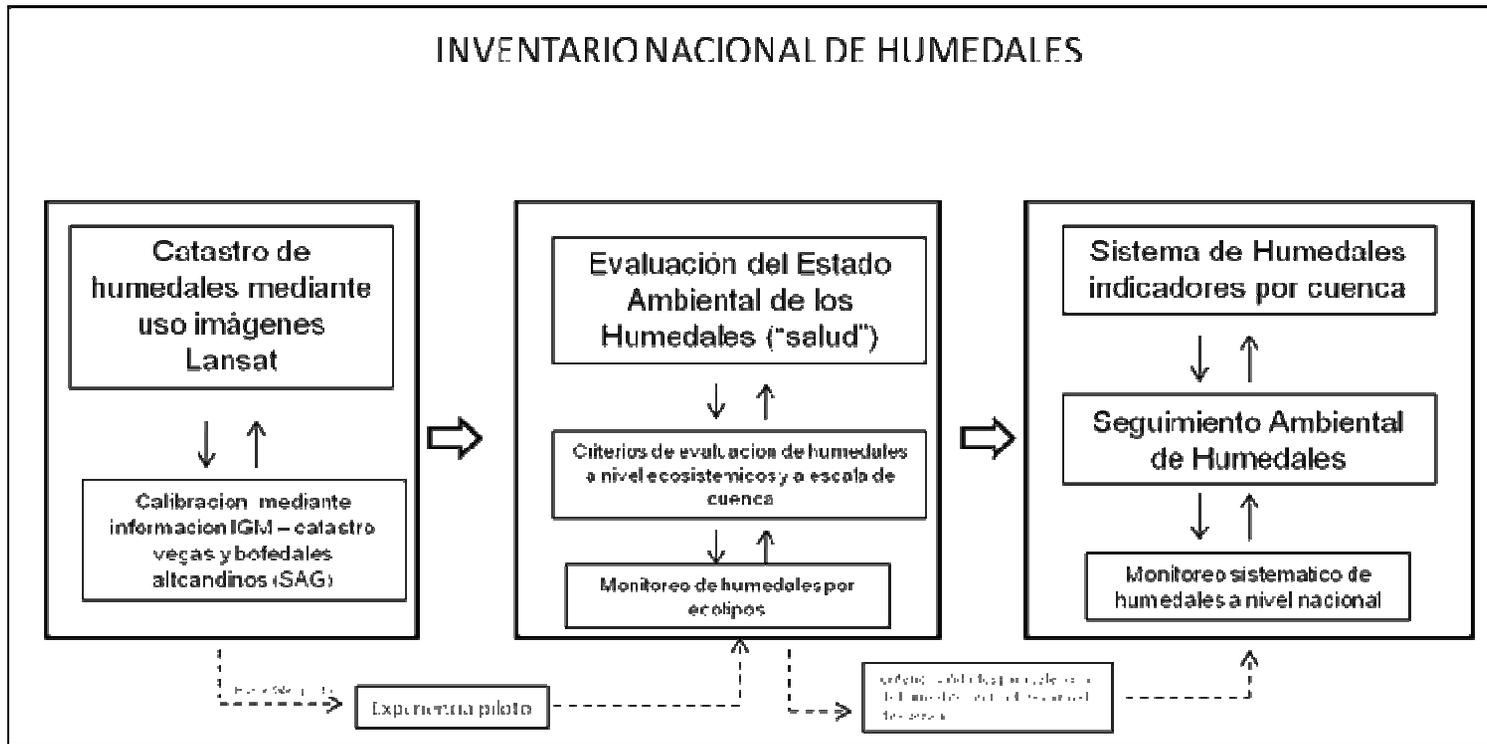
Los fundamentos expresados en líneas anteriores, sumado a la revisión de antecedentes respecto a otras plataformas de percepción remota y sistemas de monitoreo remoto,

permiten concluir que las imágenes Landsat cumplen con completitud y periodicidad necesaria para desarrollar un catastro de humedales de orden nacional y establecer evaluaciones de alerta temprana y priorización a nivel país. Complementariamente, el uso de un sensor hiperespectral de resolución espacial de un metro se configura como el complemento óptimo para elevar la escala de análisis y evaluación del estado de salud de una cuenca a través de humedales indicadores y su seguimiento periódico.

En Chile, la información que se ha manejado por décadas para la gestión en torno al recurso agua ha tenido un enfoque principalmente dirigido al consumo de agua potable, servicios sanitarios y demanda para el desarrollo productivo industrial y agrícola, reconociendo poco o nada en las políticas públicas anteriores a la existencia de la legislación ambiental, el valor del elemento sinergia entre todos los componentes ambientales vinculados a dicho recurso y el impacto en la naturaleza y ecosistemas ante la modificación o alteración de cualquiera de ellos. Como consecuencia, hoy sabemos de descompensaciones en nuestros ecosistemas acuáticos pero no conocemos sus reales dimensiones, distribución, composición y gravedad de las transformaciones. Con todo, el país hoy, con la incorporación del Catastro nacional de humedales a las actividades de gestión, podrá comenzar la intensa tarea de avanzar en la completitud de una línea base de sus recursos hídricos y biodiversidad integrada y conseguir el conocimiento necesario para poner los humedales del país en franca conservación y/o protección.

En estos términos se plantea un modelo conceptual para elaborar el Inventario Nacional de Humedales (**Figura 1.1**), el cual considera una serie de fases consecutivas para la implementación del mismo. Dentro del cual el catastro nacional de humedales constituye la tarea principal de este estudio.

Figura 1.1. Modelo Conceptual para implementación Inventario Nacional de Humedales.



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Principal del Proyecto

Elaborar un Diseño de inventario nacional de humedales, integrado y que permita implementar un sistema de seguimiento ambiental de humedales, que apoye las estrategias de conservación y las decisiones en planificación ambiental territorial, en ambientes que albergan estos ecosistemas.

2.2. Objetivos específicos

- 2.2.1. Desarrollar los criterios y procedimientos a través de los cuales se elabore un Inventario Nacional de Humedales, para efectos de fiscalización, evaluación y monitoreo de humedales.
- 2.2.2. Aplicar las metodologías adecuadas para el Inventario nacional, contemplar una base de datos para cubrir los requerimientos a nivel local, regional y nacional sobre información de humedales.
- 2.2.3 Identificar criterios para selección de humedales indicadores de la cuenca hidrográfica, desarrollando cartografía digital para análisis de la información.
- 2.2.4. Identificar las metodologías para un sistema integrado y multiescala, de monitoreo ambiental de los humedales, que considere procedimientos aplicados internacionalmente.

2.3. Alcances de Estudio

Como se menciona en líneas precedentes, el objetivo general del proyecto es desarrollar un inventario nacional de humedales enfocado a la implementación de un sistema de gestión de humedales que apoye estrategias de conservación y las decisiones en planificación ambiental de nuestro país. Como también es posible reconocer en los antecedentes bibliográficos revisados, que un inventario de humedales incorpora una serie de elementos que lo hacen complejo y dinámico (ver anexo 1). Es así que el proceso de diseño e implementación del sistema es temporalmente amplio debiendo considerar necesariamente una etapa de exploración y ajustes y posteriormente una constante revisión y adaptación a necesidades resultante de los nuevos conocimientos que se vayan dando en su completitud. Con todo, el presente trabajo se circunscribe en una primera etapa -de tres- que busca materializar los cimientos del sistema, elaborando un catastro con una herramienta de teledetección y de referencia espacial, los humedales de todo el territorio nacional continental e islas mayores, es decir generar un catastro nacional de los humedales de Chile. Este catastro se constituye como un requerimiento y parte fundamental del inventario, sobre el cual consiguientemente se podrán poblar antecedentes de las características físico-químicas y biológicas de un humedal y evaluar sus necesidades de monitoreo periódico a escala de sitio, teniendo como base conceptual la clasificación de humedales por Ecotipos bajo perspectiva ecosistémica.

Como parte de una propuesta metodológica piloto para el proceso de poblamiento -a escala de sitio- del futuro inventario nacional de humedales, este trabajo además desarrolla un estudio experimental en humedales indicadores del estado de salud de una cuenca piloto utilizando imágenes hiperespectrales del sensor AISA EAGLE de mayor resolución -tanto espacial como espectral- considerando toma de muestras de indicadores físico-químicos previamente definidos como variables estado de acuerdo a la clasificación del humedal por Ecotipos (Ver estudio "Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica").

Como resultado de la revisión, selección y sistematización desde el universo de información aludida en líneas anteriores, los elementos fundamentales a considerar en el desarrollo de esta fase de catastro del inventario nacional de humedales, se resumen en el **Tabla 2.1**.

Tabla 2.1: Síntesis de información fase de Catastro del Inventario Nacional de Humedales de Chile.

Ámbito	Antecedentes
1. Propósito y objetivos	<p>Contar con cartografía nacional de humedales y base de datos según objetivos de gestión, además de establecer los requerimientos de un sistema de alerta temprana y seguimiento ambiental de humedales, para apoyar las estrategias de conservación y las decisiones en planificación ambiental territorial.</p> <p>En una etapa posterior de desarrollo del Inventario se debe prever una fase de exploración y ajuste de la estructura propuesta, en acuerdo a nuevos requerimientos surgidos de su implementación.</p>
2. Examen de la información	<p>Se examinan las recomendaciones que RAMSAR entrega en su diversidad de manuales, algunas experiencias internacionales en la implementación de sistemas de gestión e iniciativas a nivel nacional en torno al tema, así como algunos resultados de estudios acerca de la evaluación del uso de la percepción remota en el relevamiento de información necesaria para cubrir los diversos ámbitos de la gestión integrada de humedales.</p>
3. Examen de los métodos	<p>Se evalúa la factibilidad y alternativas del uso de tecnología de percepción remota y SIG para el desarrollo de Catastro e Inventario Nacional de Humedales.</p>
4. Escala y resolución	<p>Imágenes satelitales Landsat con resolución espacial de 30x30 mts. Imágenes hiperespectrales AISA de resolución espacial de 1x1 mt. Cartografía a Escala Nacional: 1:250.000. Cobertura digital a Nivel de Cuenca: escala 1:80.000 a 1:50.000 creada a partir de las imágenes Landsat. Cobertura digital a Nivel de Sitio: creada desde imágenes AISA EAGLE, de 1 metro o menor.</p>
5. Conjunto de datos básicos.	<p>Se contempla un contenido base del Catastro a nivel país que incorpora datos geográficos y de geometría de los cuerpos de agua obtenidos desde imágenes satelitales, además de algunos indicadores biofísicos como detectores del estado trófico de un humedal. Complementariamente se incorporan antecedentes territoriales desde bases secundarias de información en apoyo a la detección de humedales indicadores del estado de la cuenca.</p>
6. Método.	<p>El alcance de este estudio cubre la generación de cartografía nacional de humedales y establece la estructura básica de datos para poner en marcha un sistema nacional de alerta temprana y priorización en el manejo de humedales, con aplicación experimental en la generación de datos y cartografía de índices biofísicos a escala local en humedales indicadores de estado de salud para una cuenca piloto.</p> <p>En lo que respecta a cartografía el método incorpora: Análisis de imágenes satelitales Landsat (generación de índices; NDVI,</p>

	NDWI, fotointerpretación) y análisis de imágenes de alta resolución espacial y espectral (sensor AISA) con identificación de cuerpos de agua en escala de cuenca y cobertura de vegetación, estado de salud, clorofila en el agua en escala local. Generación de base de datos estandarizada.
7. Estudio piloto	Se realizará un estudio experimental a humedales indicadores de estado de salud de la cuenca, en una cuenca piloto, priorizada por estado de intervención.

Fuente: Elaboración propia.

Se consideran además, como conceptos de base, los desarrollados en el marco de la Convención RAMSAR¹⁰ y con ajustes en acuerdo a la realidad nacional y marco conceptual del estudio, a saber:

Definición Ramsar de Humedal: de acuerdo a lo definido por Ramsar, se consideran humedales la variedad de hábitat tales como pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos, y áreas costeras tales como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras áreas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros, así como humedales artificiales tales como estanques de tratamiento de aguas residuales y embalses.

Consideraciones especiales del presente estudio: Es importante precisar que debido a la resolución espacial considerada para el catastro a nivel nacional a través del uso de imágenes satelitales, se incluyen en el inventario nacional de humedales todos aquellos humedales superiores a 0,4 há -que puedan ser identificados con la metodología propuesta para ello- sin perjuicio que en etapas posteriores de manejo y actualización del inventario sean reconocidos e incorporados aquellos de superficie menor (a escala local), si sus características ecológicas así lo ameritan y las nuevas tecnologías accesibles a la institucionalidad pública lo permitan.

Como complementariamente se señala en el punto 31 del documento de Marco Estratégico y Lineamientos para el desarrollo de una lista de humedales Ramsar: “Es importante que cada Parte Contratante llegue a un entendimiento a nivel nacional sobre cómo se ha de interpretar la definición de “humedal” de Ramsar y las divisiones biogeográficas que se aplicarán. La definición de “humedal” es muy amplia, ya que refleja el alcance mundial de la Convención y ofrece a las Partes Contratantes amplio margen y flexibilidad para garantizar la compatibilidad entre los esfuerzos nacionales, supranacionales/regionales e internacionales de conservación de los humedales.”

Acogiéndonos a la sugerencia enunciada por el mencionado marco internacional y bajo la premisa que se está en la etapa de descubrimiento, reconocimiento y conocimiento de lo que tenemos como potencial recurso a ser protegido o conservado de manera sostenible, es que la definición de humedal que se ha seleccionado para el Inventario Nacional de Humedales corresponde a:

¹⁰ Manual 11 de Ramsar “Inventario, evaluación y monitoreo”

“ecosistemas asociados a sustratos saturados temporal o permanentemente de agua, los cuales permiten la existencia y desarrollo de biota acuática”¹¹.

Finalmente, en relación a los humedales marinos, quisiéramos aclarar que por su particular dinámica, complejidad y estado del arte de las investigaciones que en torno al ambiente marino se llevan a cabo en paralelo, la presente fase de Catastro del inventario nacional de humedales no los incorporará, ni definirá criterios preliminares de clasificación y evaluación para ellos, sin perjuicio que estos puedan ser incorporados en el futuro, así como la batimetría de detalle que permita establecer los 6 metros de profundidad (Ramsar), junto al universo de variables que se conjugan para definir su funcionamiento y estructura.

Definición Ramsar de *Inventario de humedales*: Recolección y/o reunión de información básica para la gestión de los humedales, incluido el establecimiento de una base de información para actividades de evaluación y monitoreo específicas.

Consideraciones especiales del presente estudio: En acuerdo a los objetivos planteados para este estudio, el desarrollo del Catastro de humedales del país está esencialmente focalizado en generar una herramienta estratégica para la gestión de humedales, la cual corresponde a un sistema de alerta temprana del estado de salud de una cuenca. Para ello considera el levantamiento de todos los humedales de Chile continental e islas mayores con tecnología de percepción remota y SIG, lo que permitirá incorporar al Inventario Nacional, los primeros indicadores biofísicos de base nacional expresados territorialmente y la capacidad de proyectar sistemas de evaluación multitemporales.

Incluyendo antecedentes requeridos para actividades de evaluación y monitoreo específicas de un sistema de gestión, se lleva a cabo un estudio experimental en un área piloto como experiencia de implementación de las actividades a nivel local, desarrollando una aproximación metodológica para levantamiento de otros humedales a escala de sitio, en iniciativas futuras. Como recurso de apoyo en la priorización de humedales indicadores sobre una cuenca, se incorpora en esta fase de catastro y estudio experimental, un conjunto de fuentes secundarias de información al inventario, para el apoyo en la evaluación y definición de humedales indicadores y de variables estado de acuerdo a vocación de la cuenca y Ecotipo.

Definición Ramsar de *Evaluación de humedales*: Determinación del estado de los humedales y de las amenazas que pesan sobre ellos, como base para reunir información más específica mediante actividades de monitoreo.

Consideraciones especiales del presente estudio: como parte de esta fase de Catastro, para la evaluación de humedales se desarrolla, a nivel nacional y con alcance regional, una herramienta de diagnóstico temprano y priorización de humedales basada en la clasificación de Ecotipos de perspectiva ecosistémica para los tipos Costero y Continental, la que se fundamenta en los siguientes planteamientos:

¹¹ Concepto utilizado en el marco del desarrollo del Sistema de Clasificación de Humedales por Ecotipos de perspectiva ecosistémica asociada a una cuenca hidrográfica (Contreras, 2006).

- Es posible asociar por cuenca hidrográfica las funciones y amenazas de los humedales de acuerdo al Ecotipo correspondiente.
- Es posible desarrollar planes de manejo generales para cada Ecotipo.
- Es posible establecer vínculos entre propiedades y amenazas de un humedal a través del análisis con perspectiva ecosistémica y proveer una jerarquía de sitios a conservar.

Complementariamente, se incorporan al inventario las capas de información territorial de plantas de tratamiento de aguas servidas, minería, área agrícola, riles, centros urbanos como elementos de apoyo para el análisis y priorización por cuenca, definición de humedales indicadores y posterior levantamiento de datos a nivel local en el avance y llenado de datos del Inventario Nacional de Humedales del país lo cual fue implementado y ejercitado a través de un área piloto en el marco de este estudio.

3 METODOLOGIA

3.1 Elaboración de catastro nacional de humedales

3.1.1 Definición de unidad geográfica operacional

La presencia de los humedales en Chile está asociada fundamentalmente a una unidad hídrica mayor denominada Cuenca Hidrográfica¹², la que por sus características topográficas y orientación suele articular a los territorios de Este a Oeste, incluso interactuando sobre la planicie litoral con el espacio marino. La posición consecutiva de estas cuencas de Norte a Sur, de menor a mayor densidad en su red, finalmente delimitan la extensión continental del territorio nacional a ser cubierta por el inventario.

Internacionalmente una de las soluciones que se han planteado a los problemas de agua y su impacto en la tarea de superación de pobreza y desarrollo de pueblos, es su gestión integrada dentro de su unidad elemental: La Cuenca hidrográfica. La OCDE ya en el 2005 recomendaba al país un enfoque de gestión integrada de cuencas para mejorar el manejo de los recursos hídricos y forestales y para la generación de servicios ambientales, así como el potenciar el énfasis en el manejo del agua para la protección de los ecosistemas acuáticos; mejorar la integración de las consideraciones ambientales en el manejo del agua estableciendo un régimen sólido para los caudales ecológicos mínimos y normas biológicas sobre la calidad del agua¹³.

Los problemas de agua que han sido diagnosticados para Chile¹⁴ son representaciones claras de la naturaleza articulada de los diversos humedales al interior de su unidad de escala mayor Cuenca hidrográfica.

¹² La cuenca u hoya hidrográfica de un caudal de aguas la forman todos los afluentes, subafluentes, quebradas, esteros, lagos y lagunas que afluyen a ella, en forma continua o discontinua, superficial o subterráneamente. (Código de aguas, DGA).

¹³ Evaluaciones de desempeño ambiental, Chile. OECD-CEPAL, 2005.

¹⁴ Situación diagnóstica del recurso agua en Chile

Zona Norte: Problemas de disponibilidad de agua para el consumo humano, Extracción de agua al interior de áreas protegidas, Desecamiento de bofedales, Disminución de los niveles de agua subterránea, Contaminación de las aguas;

Finalmente, como se menciona en el estudio de profundización “Conceptos y Criterios para la Evaluación Ambiental de Humedales” (SAG-CEA 2006) “el patrón hidrológico de la cuenca es el principal factor forzante para los humedales y por ello, diferencias en magnitud, frecuencia y duración del caudal generan una variedad de respuestas dentro de éste. Por ende, los humedales son un reflejo de las condiciones ambientales presentes en la cuenca hidrológica, donde los aportes directos (ej. ríos) o difusos (ej. escorrentía) afectan su comportamiento” (ver Anexo 3), enfatizando luego, que en el funcionamiento de los humedales existen tres supuestos a considerar en su gestión:

- Los humedales son un “espejo” de la condición ambiental de la cuenca y de los cambios que en ella ocurren, así como también de las actividades que se realicen en el interior del humedal.
- Los humedales son sistemas que acumulan los materiales que en él ingresan, esto les confiere una capacidad de “filtración”, que en la actualidad esta siendo utilizada para el tratamiento de aguas.
- Los humedales que se encuentran en un estado eutrófico siguen acumulando materiales, sin embargo, también liberan materiales desde los sedimentos. Este proceso se denomina recarga interna.

3.1.2 Definición de escala, resolución espacial y conjunto básico de datos para el Catastro Nacional de Humedales

De acuerdo al estado nacional de los antecedentes en el tema de humedales en Chile, fue posible reconocer una diversidad importante en el uso de escalas de detalle y datos relevados para el estudio de humedales.

Siguiendo las recomendaciones Ramsar y los requerimientos de gestión del Inventario Nacional de Humedales, las escalas espaciales a trabajar son las siguientes:

Nacional: cubierta por el levantamiento de información desde imágenes satelitales Landsat y complementada con información nacional de Ecotipos, entre otras fuentes secundarias, el objetivo central de esta escala espacial es la representación del universo de humedales de Chile y sus relaciones territoriales, pudiendo alcanzar la representación gráfica del recurso una escala 1:80.000. Respecto al cuerpo de datos, esta escala territorial es posible vincularla al nivel 1 de la propuesta Ramsar para inventario de humedales denominada “Cuenca Fluvial o Isla” (ver **Figura 3.1**) la cual incorpora datos generales de geología, clima, biogeografía, entre otros, los que se incorporan en el estudio sujeto a la disponibilidad de ellas desde el mandante.

Zona centro sur: Crecimiento urbano y expansión de las actividades silvoagropecuarias, Contaminación por plaguicidas y fertilizantes, Prácticas de riego poco eficientes, Contaminación industrial de las aguas;

Zona sur austral: Desarrollo de actividad acuícola (contaminación por exceso de materia orgánica), Prácticas silvoagropecuarias inadecuadas (contaminación/erosión), Desarrollo de proyectos hidroeléctricos en zonas de alto valor de conservación, y/o turístico, Documento CONA;MA: Participación Social en la Estrategia Integrada de Cuencas Hidrográficas.

En: [http://www.pnuma.org/agua-miaac/REGIONAL/MATERIAL%20ADICIONAL/BIBLIOGRAFIA-WEBGRAFIA%20\(2\)/Participacion%20social%20en%20la%20Gestion%20de%20Cuencas.pdf](http://www.pnuma.org/agua-miaac/REGIONAL/MATERIAL%20ADICIONAL/BIBLIOGRAFIA-WEBGRAFIA%20(2)/Participacion%20social%20en%20la%20Gestion%20de%20Cuencas.pdf)

Regional: Geográficamente esta escala puede contener las mismas características del nivel Nacional con la particularidad de ser vinculada a la división política administrativa del país permitiendo entonces relacionar el recurso con elementos propios del nivel Regional. En el ámbito de los datos, el nivel Regional puede alcanzar a cubrir el nivel 2 “Región del Humedal” y nivel 3 “Complejo del Humedal” en acuerdo a la propuesta Ramsar. Puede incorporar antecedentes de Ecotipos, superficies, referencias territoriales administrativas, altitud, clima, hidrología, vegetación. El objetivo de esta escala en el ámbito particular de esta propuesta es acoger el análisis y diagnóstico del estado de salud de una cuenca hidrográfica a través del análisis conjunto de coberturas de información territorial como PTAS, minería, agricultura, riles y centros urbanos.

Local: Geográficamente corresponde a escala de sitio y la precisión es obtenida a través de imágenes hiperspectrales AISA, con alta resolución espacial y espectral, con una representación gráfica que puede llegar hasta 1:2000 e incluso de mayor detalle si es posible controlar menores alturas de vuelo. En término de datos, a esta escala se individualizan indicadores biofísicos como cobertura de vegetación, clorofila a, agua e incluso se puede llegar a definir, como propone Ramsar para su nivel 4 de Inventario de humedales, antecedentes físicos, químicos y biológicos de la estructura y funcionamiento del humedal. Particularmente en este estudio, el alcance para esta escala se logra a través del estudio piloto en tramos indicadores de estado de cuenca del río Aconcagua.

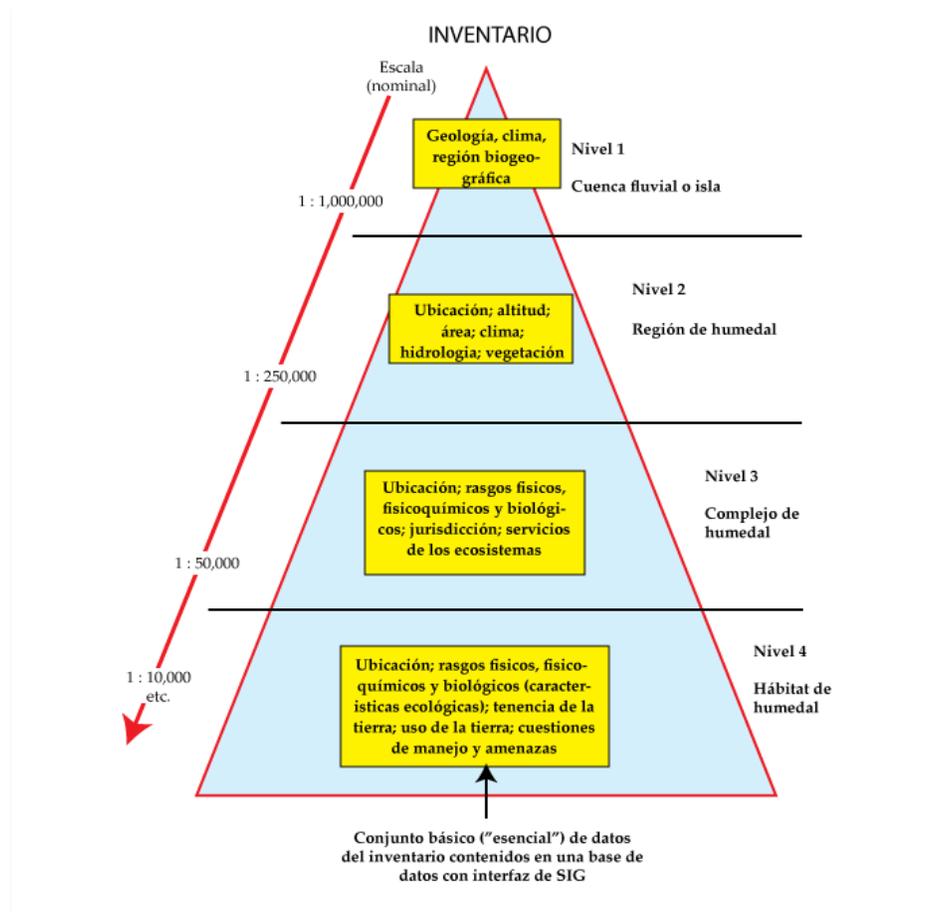


Figura 3.1. Escalas para inventario de humedales.
Fuente: <http://www.ramsar.org>.

3.1.3 Criterios para la delimitación de humedales

Los criterios a utilizar para delimitar los humedales corresponden a la expresión espacial de las variables de estado identificadas en CEA (2006)¹⁵. Específicamente, se utilizó los espejos de agua y la vegetación azonal, como indicadores de la presencia y extensión espacial de los humedales.

3.1.4 Metodología de detección de humedales mediante sensores remotos.

La interpretación digital de las imágenes de satélite se basa principalmente en el análisis del comportamiento espectral de los elementos fundamentales del paisaje (Jensen y Chuvieco, en Oyola, 2009). Para cubrir los objetivos propuestos para esta fase de catastro del inventario nacional de humedales, las variables a ser analizadas corresponden a las siguientes:

- **Vegetación:** la cual es especialmente variable, dependiendo de múltiples factores como el estado fenológico, la forma y el contenido en humedad. De manera general se puede decir que la vegetación presenta una reducida reflectividad en las bandas visibles (azul, verde y rojo), con un máximo relativo en la región del verde 0.55 μm . Esto se debe al efecto absorbente de los pigmentos fotosintéticos de las hojas. Entre ellos, la clorofila absorbe en la zona del rojo.

La estructura celular interna da la elevada reflectividad en el infrarrojo cercano que luego va reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo medio. Por tanto, el contraste más nítido se presenta entre las bandas visibles (especialmente rojo) y el infrarrojo cercano. Cuanto mayor es ese contraste, mayor es el vigor de la vegetación.

En definitiva, tres parámetros -pigmentos, estructura celular y contenido en agua- manifestados en la respuesta espectral de la masa de vegetación de la que forman parte, puede servir para establecer el estado de salud de la vegetación.

- **Agua:** esta refleja en el rango de la luz visible y casi no refleja en el rango del infrarrojo. Se distingue muy bien de otras superficies, apareciendo claramente delimitadas como áreas oscuras (valores de píxel bajos) en imágenes registradas en el rango cercano al infrarrojo. Es decir que, absorbe o transmite la mayor parte de la radiación visible que recibe. Por tanto presentará una curva espectral plana, baja y de sentido descendente. A pesar de esto, en aguas poco profundas, la reflectividad aumenta, ya que es afectada por: la profundidad, contenido en materias en suspensión (clorofila, arcillas y nutrientes) y rugosidad de la superficie.

De acuerdo a lo descrito, cada una de las superficies refleja la radiación de manera distinta para las diferentes longitudes de ondas a las que sean expuestas. La radiación reflejada en función de la longitud de onda se llama firma espectral de la superficie y un ejemplo de su representación gráfica se muestra en la **Figura 3.2**.

¹⁵ Centro Ecología Aplicada. 2006. Conceptos y criterios para la evaluación ambiental de humedales. Servicio Agrícola Ganadero (SAG). Santiago. 81 pp.

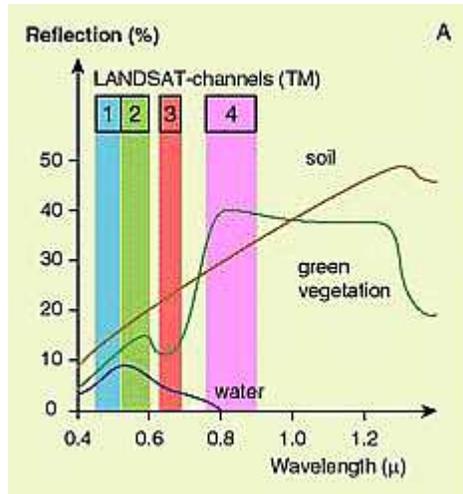


Figura 3.2. Firmas espectrales típicas para tres tipos de superficies mostrando el rango que cubren las bandas 1, 2, 3 y 4 del Satélite Landsat TM. Fuente: www.eduspace.esa.int.

3.1.5. Utilización de imágenes multiespectrales Landsat

El programa Landsat existe desde 1972 y es considerado uno de los programas más fructíferos de teledetección espacial desarrollado hasta el momento. Ha sido utilizado con éxito en diversos estudios (Villeneuve, 2005), debido a la buena resolución de sus sensores, su carácter global, lo periódico de la observación que realiza y su gran difusión (Jensen 1996 y 2007; Chuvieco, 2002). Además, como se menciona en líneas anteriores, las características técnicas de las bandas de éste satélite permiten discriminar superficies inundadas y de vegetación, Algunos antecedentes específicos complementarios se revisan en la **Tabla 3.1**

Tabla 3.1. Características técnicas de las imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM.

Banda	Espectro	5 TM		7 ETM+	
		Ancho de banda (µm)	Tamaño de píxel (m)	Ancho de banda (µm)	Tamaño de píxel (m)
1	Azul	0,45-0,52	30 x 30	0,450-0,515	30 x 30
2	Verde	0,52-0,60	30 x 30	0,525-0,605	30 x 30
3	Rojo	0,63-0,69	30 x 30	0,630-0,690	30 x 30
4	Infrarrojo cercano	0,76-0,90	30 x 30	0,750-0,900	30 x 30
5	Infrarrojo medio	1,55-1,75	30 x 30	1,55-1,75	30 x 30
6	Infrarrojo térmico	10,4-12,5	120 x 120	10,4-12,5	60 x 60
7	Infrarrojo medio	2,08-2,35	30 x 30	2,080-2,350	30 x 30
8	Pancromática	-		0,520-0,900	15 x 15

Fuente: <http://glovis.usgs.gov/>

Accesibilidad a las imágenes Landsat

Actualmente la *United States Geological Survey* (USGS), organización del gobierno americano responsable de la distribución de las imágenes Landsat, ofrece estas imágenes gratuitamente y pueden ser descargadas directamente desde su sitio en Internet (<http://glovis.usgs.gov>). En caso de necesitar una escena de una fecha no disponible en la USGS es factible adquirirla en otros sitios de distribución. Por lo tanto, además de obtener las escenas más recientes disponibles de esta serie, también se tiene acceso a imágenes de archivo, con una data disponible de más de 30 años, lo que facilita emprender un análisis histórico de la evolución de humedales y de vegetación.

Para la identificación de humedales a escala de cuenca se revisaron imágenes Landsat, disponibles en dos bases de datos (USGS e INPE)¹⁶. Los criterios de selección de las imágenes son: dos imágenes por escena, que cubren la misma área geográfica en distinta época del año (invierno / verano) para detectar la máxima expresión espacial del humedal, baja o nula cobertura de nubes y en lo posible de años que no estén influenciados por los fenómenos del Niño o la Niña. Cabe señalar que no siempre se encontraron imágenes disponibles que cumplieran con todos los criterios señalados.

¹⁶ USGS United States Geological Survey
 INPE Instituto Nacional de Pesquisas spaciais, Ministério de Ciência e Tecnologia, Brasil

Procesamiento de imágenes Landsat

Preproceso

Se realizó corrección atmosférica a las imágenes Landsat. Ésta corrección se utiliza para eliminar distorsiones de las imágenes debido a los efectos de las partículas presentes en la atmósfera. Comprende principalmente la eliminación del efecto de la dispersión de la radiación electromagnética originada por parte de los gases y partículas en suspensión en la atmósfera. Para ello se utilizó el modelo de Chávez, (Chávez, 1975 en Chuvieco, 2002) donde se indica que los cuerpos u objetos de alta absorptividad deberían tener valores de nivel digital cero (Chuvieco, 2002), este procedimiento, conocido como *Dark Object Subtraction Model* (DOSM), necesita datos de la variación solar, de la fecha del año e inclinación del ángulo de elevación del sol, con ellos se puede eliminar el efecto de la niebla sobre la imagen.

La geometría de la imagen se contrastó con cartografía vectorial de drenes y caminos de escala 1:50.000, de base del IGM y actualizada por otros proyectos. En caso de presentar errores mayores a la resolución espacial de la imagen (30 m) estos vectores se utilizaron para obtener puntos de control y rectificar la imagen.

Análisis de las imágenes Landsat

El proceso de análisis de las imágenes satelitales Landsat incluyó la generación de los índices NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) y NDWI (*Normalized Difference Water Index*).

Generación de índices NDVI y NDWI en imágenes Landsat

Los índices sirven para mejorar la capacidad de interpretación de los datos, suelen ser utilizados para optimizar la discriminación entre dos cubiertas con comportamiento reflectivo muy distinto entre dos bandas (Chuvieco, 2002).

Uno de los índices espectrales más usados en teledetección es el Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

$$NDVI = \frac{\rho_i IRC - \rho_i R}{\rho_i IRC + \rho_i R}$$

Este índice permite estimar el estado de la vegetación en base a la intensidad de la radiación de las bandas del espectro electromagnético, del infrarrojo cercano (IRC) y rojo (R). En este sentido cabe destacar la posibilidad de caracterizar el estado fotosintético de la vegetación a partir de la combinación de dos bandas espectrales. Es en estas dos zonas espectrales es donde aparece la principal diferencia entre la vegetación sana y vigorosa, con alto contenido de humedad y la vegetación enferma sin mostrar actividad fotosintética.

Los valores entregados por el índice varían entre -1 y 1. Si el valor se acerca a 1 esta indicando una vegetación vigorosa y sana, los valores cercanos a cero se relacionan con suelo fraccionado a desnudo, valores negativos generalmente corresponden a nubes o

cuerpos de agua. Además mediante el empleo de este índice podemos identificar diferentes grados de cobertura vegetal.

Para delimitar las superficies cubiertas con agua y detectar su cambio temporal se empleó el Índice de Diferencia Normalizada de Agua, NDWI (*Normalized Difference Water Index*) (Gao, 1995; McFeeters, 1996).

$$NDWI = \frac{\rho_i V - \rho_i IRC}{\rho_i V + \rho_i IRC}$$

Este índice es conveniente para detectar la presencia de superficies de agua, dada su alta reflectividad en el verde (V) y baja reflectividad en el infrarrojo cercano (IRC). Las imágenes generadas con este índice muestran los cuerpos de agua en forma destacada, apareciendo en tonos claros las superficies de agua.

Los valores del NDWI varían entre -1 y 1, asociando valores positivos para las superficies con agua o húmedas y cero o negativo para el suelo y la vegetación terrestre estresada.

Identificación y digitalización de los humedales desde imágenes Landsat

Una vez realizado el preproceso, el procedimiento para la identificación de los polígonos, consiste en consultar alternadamente -en un SIG- las imágenes de los índices calculados y las imágenes que conforman la escena en falso color convencional. Lo anterior a objeto de poder discriminar cuando nos encontramos en los valles o en los fondos de quebradas, pudiendo verificar la presencia de sombras o de nieve que distorsiona la interpretación. Para la identificación también son útiles los vectores de drenes y cuerpos de agua, que permiten una clara interpretación de la línea de costa, meandros e inicio y termino de cursos de agua. La **Figura 3.3** esquematiza el proceso de identificación de humedales con las imágenes Landsat.

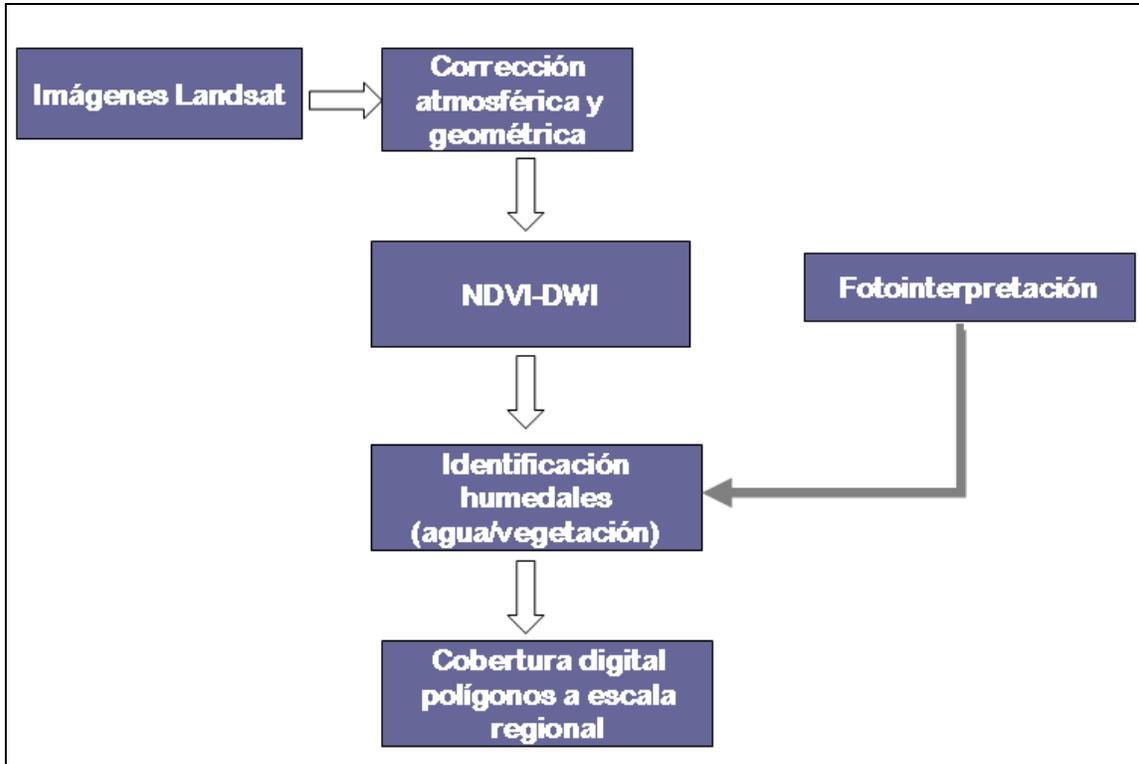


Figura 3.3. Proceso de identificación de humedales con sensores remotos propuesto.
Fuente: elaboración propia.

3.1.6 Procedimiento de Calibración del Catastro de Humedales

Validación de la clasificación (matriz de confusión)

En una matriz de confusión las clases reales (clases de referencia) aparecen en columnas, mientras que las unidades identificadas computacionalmente aparecen en las filas de la matriz. La tabla así formada nos presenta una visión general de las asignaciones, tanto de las correctas (elementos de la diagonal) como de las migraciones o fugas (elementos fuera de la diagonal) (Ariza, 1996).

Para validar los resultados obtenidos en el proyecto, se utilizaron todos los polígonos identificados en las imágenes Landsat, los que conforman la cobertura digital del catastro de humedales realizado. Para llevar a cabo este proceso se generaron dos matrices de confusión (o matriz de error), con la primera de ellas se comparó el catastro de humedales con la cartografía de red hídrica del Instituto Geográfico Militar (IGM) y con la otra se contrastó la cobertura de vegetación azonal de autoría del Servicio Agrícola Ganadero (SAG).

3.2 Información relevante para determinar la condición ambiental de los humedales

3.2.1 Definición condición ambiental de humedales

Para la definición de la condición ambiental de los humedales se utilizó el análisis de la condición basal esperada para los humedales según la clasificación de Ecotipos y la jerarquización de amenazas (CONAMA-CEA, 2006).

3.2.2 Identificación de tipo de amenazas

En el estudio CONAMA-CEA (2006)¹⁷ se realizó una selección y jerarquización de las amenazas (Tabla 3.2), en función de la relación de los procesos que fueron utilizados para definir los Ecotipos. La jerarquización establece que las amenazas de tipo físico son capaces de modificar el sistema globalmente, cambiando su estructura y funcionamiento. Las amenazas de tipo químico alteran componentes específicos del sistema (abiótico y/o biótico), no obstante, si la masa de elementos o compuestos químicos sobrepasa la capacidad de carga del sistema, éstos son capaces de afectar el sistema globalmente. En cambio las amenazas de tipo biológico afectan solamente componentes específicos del sistema.

Es importante señalar que la menor recarga hídrica observada en las últimas décadas a nivel nacional, es la principal amenaza que afecta la estructura y funcionamiento de los humedales.

¹⁷ CONAMA-CEA, 2006. *Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica*. Santiago. 114 pp.

Tabla 3.2. Jerarquización de las amenazas en función de los Ecotipos.

Ecotipos	Amenazas		
	Físico	Químico	Biológico
Intrusión salina	Alteración dinámica barra terminal. Extracción y modificación de caudal agua superficial de tributarios (ej. camino costero). Quema vegetación ripariana	Actividad agrícola (fertilizantes, pesticidas). Descargar Riles con alta concentración nutrientes	Pastoreo. Depredadores domésticos alzados (gatos y perros)
Evaporación	Extracción agua subterránea y superficial. Quema vegetación.	Descargar Riles con alta concentración sales	Pastoreo
Infiltración (A)	Extracción agua superficial. Drenaje. Sedimentación. Deforestación	Descargar Riles con alta concentración nutrientes	Monocultivos. Pastoreo
Infiltración saturado (B)	Modificación tiempo residencia del agua. Sedimentación. Deforestación	Descargar Riles con alta concentración nutrientes. Descargar Riles con alta concentración sales	Extracción biomasa. Depredadores domésticos alzados (gatos y perros)
Escorrentía	Extracción agua superficial. Deforestación	Descargar Riles con alta concentración nutrientes	Deforestación vegetación ripariana
Afloramientos subterráneos	Extracción agua subterránea y superficial. Quema vegetación.	Descargar Riles con alta concentración sales. Descargar Riles con alta concentración sales. Actividad agrícola	Pastoreo. Introducción especies exóticas. Depredadores domésticos alzados (gatos y perros)
Ácidos orgánicos	Deforestación	Descargar Riles con alta concentración nutrientes	
Isoterma O°C	Modificación tiempo residencia del agua	Descargar Riles con alta concentración nutrientes	Introducción especies exóticas. Pastoreo

A partir de las amenazas señaladas anteriormente, se realizó una revisión de bases de datos espacializadas disponibles en diferentes instituciones públicas, para identificar aquellas que permitían realizar un análisis espacial de las mismas. Estas bases de datos constituirán una información complementaria al catastro de humedales, para evaluar su condición ambiental.

3.3 Determinación del rol de los humedales como indicador del estado ambiental de los recursos hídricos a nivel de cuenca

3.3.1 Enfoque conceptual

Las bases conceptuales para el uso de los humedales como indicador del estado ambiental de los recursos hídricos a nivel de cuenca, se analizó a partir de la publicación “Conceptos y Criterios para la Evaluación Ambiental de Humedales” (SAG-CEA 2006).

3.3.2 Criterios para la localización de humedales a nivel de cuenca

Se utilizó como principal criterio la localización espacial de los humedales determinada a partir del catastro, en función de la calidad y cantidad de amenazas existentes en la cuenca.

3.3.3 Indicadores estado según Ecotipos

Los indicadores de estado corresponden a los identificados por Ecotipos en el estudio CONAMA-CEA (2006), los cuales se presentan en el Anexo 3.

3.3.4. Estudio experimental humedales piloto

Para poner en evidencia el valor de los humedales como indicadores a nivel de cuenca y ajustar la tecnología a utilizar, se desarrolló un estudio experimental en humedales pilotos en la Cuenca del río Aconcagua, en la V Región. La cual fue seleccionada por presentar fuentes diversas de contaminación puntual y difusa que constituyen amenazas para la condición ecológica de los humedales.

3.3.4.1 Criterios de identificación y delimitación de humedales piloto

En la cuenca del río Aconcagua se seleccionaron 6 tramos (**Figura 3.4**), un mayor detalle de los mismos se encuentra en el Anexo 4.

Los tramos seleccionados según los siguientes criterios fueron: i) Tramo 1, condición control a nivel cuenca; ii) Tramo 2, presencia aporte puntuales derivados de la minería y difusos provenientes de la agroindustria; iii) Tramo 3 y 4, presencia fuentes puntuales provenientes de planta de tratamiento de aguas servidas urbanas; iv) Tramo 5, presencia aportes agroindustria y v) Tramo 6, presencia Riles de origen industrial.

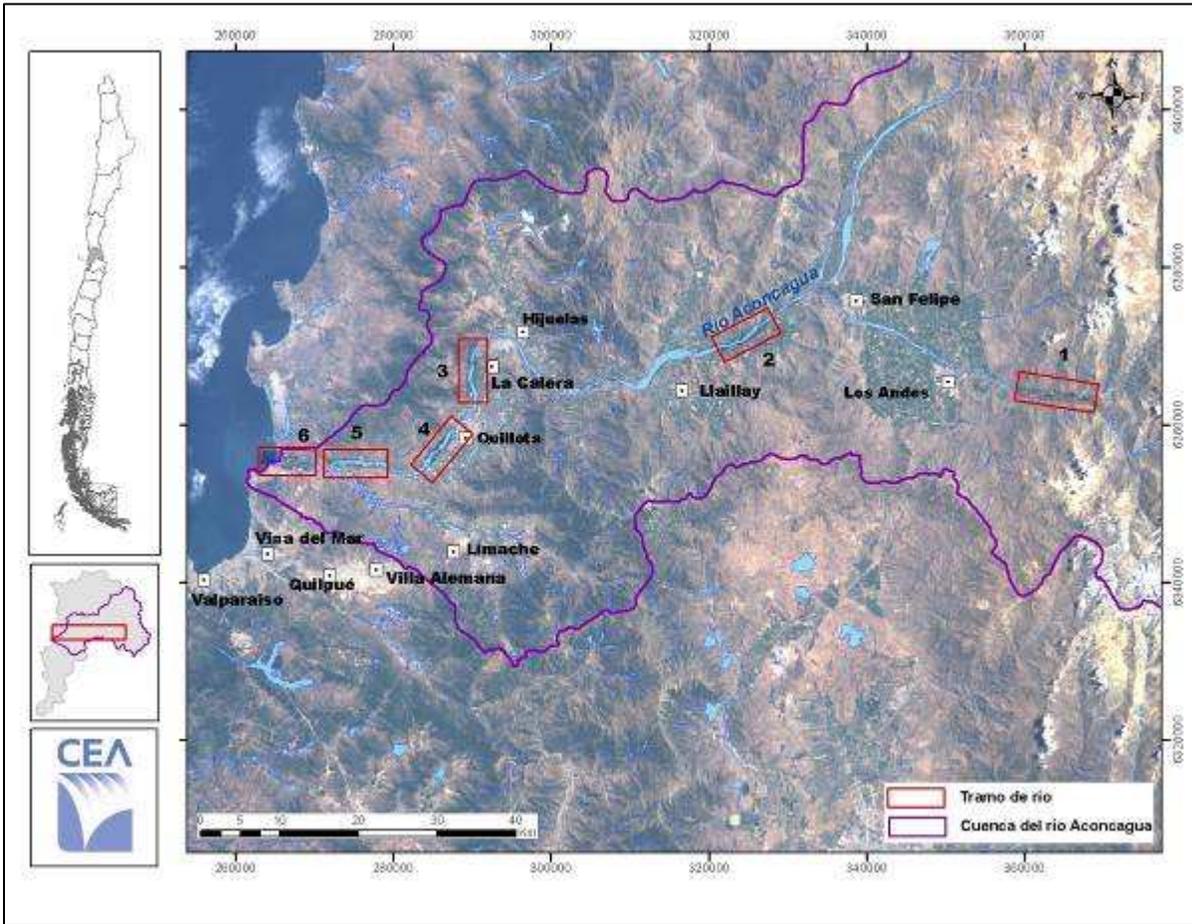


Figura 3.4. Tramos del río Aconcagua seleccionados en la cuenca.

3.3.4.2 Variables estado de humedales pilotos como descriptores de la condición de los recursos hídricos a nivel de cuenca

Se utilizaron como descriptores la concentración de clorofila a, turbidez y S.T.S en el agua (“estado trófico”) y la cobertura de vegetación ripariana.

3.3.4.3 Detección de humedales piloto

La **Figura 3.5** esquematiza el procedimiento para la identificación de humedales en estudio experimental, utilizado imágenes hiperespectrales e información de terreno.

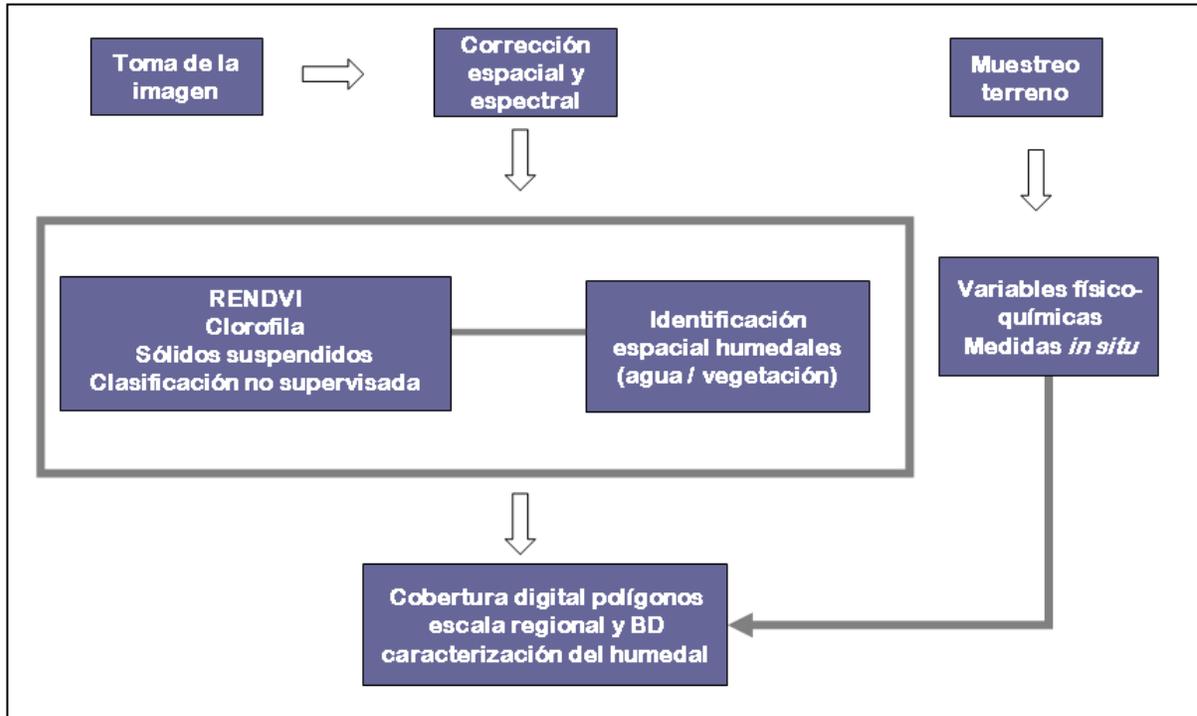


Figura 3.5 Proceso de identificación de humedales en estudio experimental, con imágenes hiperespectrales e información de terreno.

El Centro de Ecología Aplicada cuenta con sensor hiperespectral aerotransportado AISA Eagle Specim Imaging de un rango espectral entre 400-970 nm y 64/128/256 bandas (**Figura 3.6**) la cual permite realizar estudios de monitoreo de variables acuáticas como turbidez y concentración de clorofila a. El sensor se monta en un avión especializado para levantamientos fotogramétricos, el cual debe efectuar un barrido por la zona de interés (**Figura 3.7**), para este estudio se utilizó una plataforma Twin Otter de la Fuerza Área de Chile.



Figura 3.6. Diagrama de la obtención de reflectancia con el sensor hiperespectral AISA Eagle Specim. Se muestran los parámetros de programación de la adquisición de datos como la línea, velocidad y altura de vuelo, como también los parámetros de movimiento que registra la unidad de movimiento inercial (IMU) que permite efectuar la posterior rectificación espacial.



Figura 3.7. Sensor AISA-Eagle Specim montado en avión Cessna 401 bimotor.

Mediante el análisis de imágenes hiperespectrales es posible realzar la diferencia entre suelo, vegetación, cuerpos de agua u otro elemento del paisaje. Además la respuesta espectral se puede relacionar con productividad, estacionalidad, fenología, eficiencia de riego, estrés de la vegetación, identificación de especies forestales, riesgo de incendio, especies invasoras, variación temporal y espacial de hábitats terrestres y acuáticos, estado de plantaciones en función del tipo de suelo, discriminación de vegetación sin actividad fotosintética, entre otros.

El análisis espectral de las bandas permite diferenciar y encontrar contrastes no visibles para el rango de visión del ojo humano. Esto hace posible discriminar la fracción acuática de la terrestre, e identificar el hábitat del sistema, como también capturar características físicas y algunos otros procesos químicos y/o biológicos dependiendo de la respuesta espectral que generen.

Debido a la alta resolución espacial que se puede obtener con este sensor, la que estará dada por la altura de vuelo, la identificación y delimitación de los cuerpos de agua y formaciones vegetacionales alcanzan altos grados de precisión, en cuanto a ubicación y cálculo de superficie.

Para el estudio experimental se capturaron y analizaron imágenes obtenidas con el sensor hiperespectral. Además para caracterizar el sistema estudiado y calibrar las imágenes de percepción remota se realizó una campaña de terreno sincronizada con la captura de la imagen.

Para el análisis de imágenes se utilizaron los programas de procesamiento de imágenes, Erdas Imagine 9.2 y ENVI 4.7. Para la generación de cartografía se utilizó el programa Arcview 3.2 y Arcgis 9.2.

Generación de índices en imágenes hiperespectrales

Vegetación

Gracias al uso de imágenes hiperespectrales, los índices de vegetación se han potenciado en cuanto a la identificación de factores que afectan el estado de las plantas. De entre los diversos índices factibles de obtener de este tipo de imágenes, se utilizó el de vegetación de banda angosta (RENDVI), el que se obtiene con las longitudes de onda de las bandas de 750 nm y 705 nm, con lo que es posible obtener información detallada del vigor de la vegetación.

Vigorosidad, RENDVI (*The Red Edge Normalized Difference Vegetation Index*). Este índice es una modificación del NDVI. Este índice de vegetación de banda angosta se caracteriza por ser muy sensible, lo que permite detectar pequeños cambios en el estado de la vegetación. Su aplicación incluye agronomía de precisión, monitoreo de bosques y vegetación estresada. Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación

$$\text{RENDVI} = (B_{750} - B_{705}) / (B_{750} + B_{705})$$

Sistema acuático

La **Figura 3.8** muestra la respuesta espectral de agua clara y agua con microalgas, las que presentan diferencias significativas en ciertas longitudes de onda. En particular las longitudes de onda de 470, 550, 680 y 705 nm producen máximos contrastes entre los dos tipos de agua.

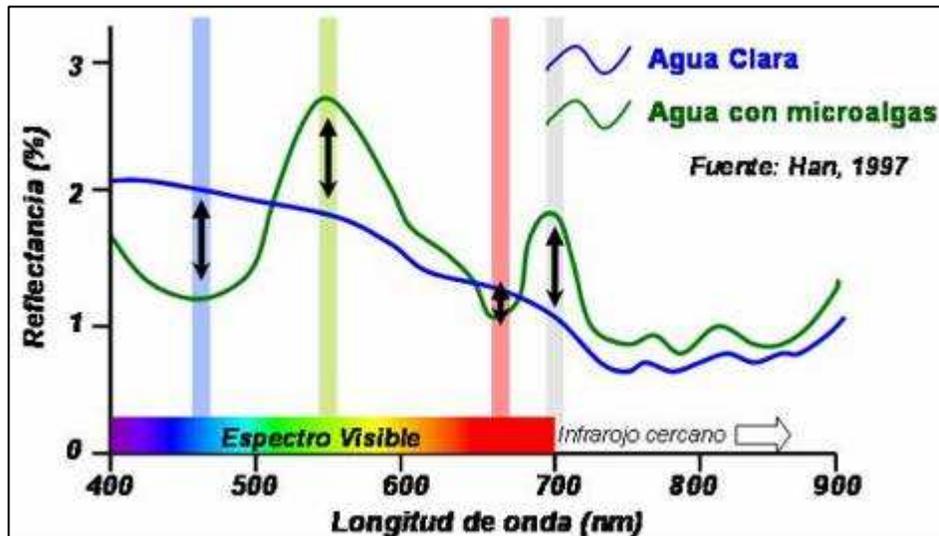


Figura 3.8 Respuesta espectral de agua clara y agua con microalgas (Han, 1997).

Se puede observar que a medida que aumenta la columna de agua la respuesta espectral cambia (**Figura 3.9**) disminuyendo la reflectancia de las bandas cercanas a 550 nm y las bandas infrarrojas (> 700 nm). Este ejemplo puede ser extendido a una mayor cantidad de casos (tanto en laboratorio como en terreno), que involucren distintos tipos de sustrato y mayor cantidad de profundidades de columna de agua, con el fin de obtener la caracterización de cada hábitat.

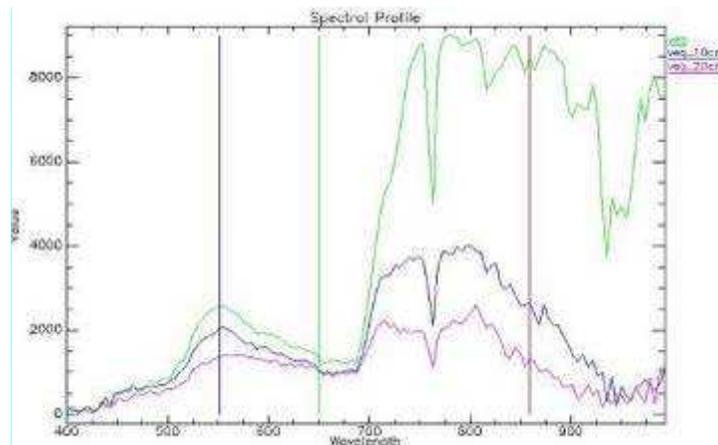


Figura 3.9. Indica firmas espectrales de vegetación acuática con diferentes profundidades de agua.

El sensor hiperespectral permite realizar estudios de monitoreo de variables acuáticas como sólidos suspendidos y concentración de clorofila con lo que se obtiene la caracterización del sistema. Para obtener estos parámetros se utilizará las bandas 703 nm y 675 nm, para la clorofila, y la banda de 563 nm, para los sólidos suspendidos

La **Tabla 3.3** muestra las características técnicas y las resoluciones espaciales y espectrales que alcanza el sensor.

Tabla 3.3 Características de sensor AISA-EAGLE Specim.

Sensor	Especificación
Rango espectral	400 – 970 nm
Resolución espectral	2.3 – 10 nm
Nº bandas espectrales	1 – 256
Modo de operación	Hiperespectral y Multiespectral
Frecuencia de barrido	<88 Hz
Dimensión barrido especial	960 píxels
Resolución espacial	> 1 m

En forma paralela a la obtención de las imágenes hiperespectrales se realizó una caracterización limnológica de cada sitio, considerando variables bióticas y abióticas (ver Anexo 5), algunas de las cuales fueron utilizadas para la calibración de índices espectrales (sedimentos, concentración de clorofila y vegetación).

3.3.4.4 Evaluación del estado ambiental de los humedales piloto

La evaluación del estado ambiental de los humedales pilotos se realizara en base a un análisis comparativo de carácter espacial, contrastando la condición ambiental entre ellos.

4 RESULTADOS

4.1 Catastro Nacional de Humedales

4.1.1 Identificación de humedales a nivel nacional

La identificación de los humedales para todo el territorio de Chile continental se realizó a través del montaje de un mosaico nacional cubierto por 185 imágenes satelitales, correspondientes a 81 escenas¹⁸, que abarcaron los 756.069 km² de superficie continental del país. Para seleccionar las escenas se revisaron 1000 imágenes Landsat aproximadamente, disponibles en dos bases de datos (USGS e INPE).

Los criterios de selección fueron dos fechas por escena (invierno y verano), esto con el fin de identificar la máxima expresión espacial del humedal. Además se buscaron imágenes que presentaran escasa o nula cobertura de nubes y en lo posible de años que no estuvieran influenciados por los fenómenos del Niño o la Niña. Cabe señalar que no siempre fue posible seleccionar una imagen que cumpliera todos los criterios de búsqueda. Para algunas escenas, del norte de Chile, fue posible encontrar imágenes de apoyo o complementaria en la base de datos del INPE de Brasil. Estas se utilizaron en los casos donde la imagen principal seleccionada no cubría toda la escena, por ejemplo, por cubierta de nubes. El listado de las imágenes utilizadas se detalla en las **Tablas 4.1, 4.2 y 4.3**.

Tabla 4.1. Imágenes zona norte

Escenas	Path	Row	Invierno	satélite	Verano	satélite
1	2	72	28-08-2000	Landsat-5	13-12-2001	Landsat-7
2	1	73	31-07-2004	Landsat-5	06-12-2001	Landsat-7
3	2	73	07-08-2001	Landsat-7	28-01-2004	Landsat-5
4	1	74	31-07-2004	Landsat-5	23-01-2002	Landsat-7
5	2	74	20-08-2000	Landsat-7	28-01-2004	Landsat-5
6	1	75	31-07-2004	Landsat-5	23-01-2002	Landsat-7
7	233	75	12-08-2005	Landsat-5	21-01-2001	
	233	75			02-11-2000	Landsat-5
8	1	76	31-07-2001	Landsat-7	29-01-2007	Landsat-5
9	1	76			28-01-2001	Landsat-5
10	233	76	11-07-2005	Landsat-5	30-01-2004	Landsat-5
11	232	76	02-08-2001	Landsat-7	25-01-2005	Landsat-5
12	1	77	15-07-2001		06-12-2001	Landsat-7
13	233	77	11-07-2005	Landsat-5	30-01-2004	Landsat-5
14	232	77	01-07-2001	Landsat-7	06-01-2001	Landsat-7
	232	77	18-08-2001	Landsat-5	16-11-2001	Landsat-7
14	1	78	31-07-2004	Landsat-5	07-01-2002	Landsat-7
15	233	78	11-07-2005	Landsat-5	30-01-2004	Landsat-5
16	1	79	31-07-2001	Landsat-7	12-03-2005	Landsat-5

¹⁸ Una escena Landsat corresponde a un área geográfica determina la que cubre una superficie de 185 km².

17	233	79	11-07-2005	Landsat-5	30-01-2004	Landsat-5
18	1	80			04-09-2005	Landsat-5
19	233	80	11-07-2005	Landsat-5	30-01-2004	Landsat-5
20	1	81	29-06-2001	Landsat-7	22-12-2001	Landsat-7
	1	81			03-12-2000	Landsat-7
21	233	81	11-07-2005	Landsat-5	30-01-2004	Landsat-5
22	1	82	29-06-2001	Landsat-7	14-01-2001	Landsat-7
23	233	82	12-08-2005	Landsat-5	13-01-2001	Landsat-7
24	1	83	12-07-2000	Landsat-7	04-01-2001	Landsat-7
25	233	83	03-06-2000	Landsat-7	13-01-2001	Landsat-7
	233	83	10-09-2001	Landsat-7		
26	232	83	04-07-2005	Landsat-5	28-01-2006	Landsat-5
27	1	84	12-07-2000	Landsat-7	23-01-2002	Landsat-7
28	233	84	10-09-2001	Landsat-7	30-01-2004	Landsat-5
	233	84	29-11-2001	Landsat-7		
29	232	84	30-07-2000	Landsat-7	28-01-2006	Landsat-5
Imágenes con nubes						

Como se aprecia en la **Tabla 4.1**, para la zona norte del territorio nacional se utilizó un total de 63 imágenes correspondientes a 29 escenas Landsat. De estas 8 presentaban una cubierta de nubes parcial, lo que no fue impedimento para utilizar las áreas despejadas. Los años de las imágenes utilizadas para este sector fluctúan entre los años 2000 y 2006.

La **Tabla 4.2**, correspondiente a las Imágenes utilizadas en la zona centro, presenta 12 imágenes con cubierta de nube parcial, por lo que se utilizó solo el sector en que había visibilidad. El total de imágenes analizadas para esta zona fue de 62, correspondientes a 29 escenas, distribuidas temporalmente entre los años 2000 y 2006.

Tabla 4.2. Imágenes zona centro

Escenas	Path	Row	Invierno	satélite	Verano	satélite
1	1	85	16-08-2001	Landsat-7	04-01-2001	Landsat-7
2	233	85	10-09-2001	Landsat-7	29-01-2001	Landsat-7
3	232	85	04-07-2002	Landsat-7	25-01-2005	Landsat-5
4	1	86	16-08-2001	Landsat-7	22-12-2001	Landsat-7
5	233	86	27-05-2003	Landsat-7	18-03-2001	Landsat-7
6	232	86	31-08-2000	Landsat-7	08-12-2001	Landsat-7
7	1	87	13-04-2002	Landsat-7	03-12-2000	Landsat-7
8	233	87	12-10-2001	Landsat-7	01-02-2002	Landsat-7
9	232	87	01-07-2001	Landsat-7	08-12-2001	Landsat-7
10	233	87	29-11-2001	Landsat-7		
11	1	88	12-07-2000	Landsat-7	19-12-2000	Landsat-7
			25-10-2000	Landsat-7	29-11-2001	Landsat-7
13	232	88	01-07-2001	Landsat-7	08-12-2001	Landsat-7
14	233	89	16-04-2000	Landsat-7	29-11-2001	Landsat-7
			25-10-2000	Landsat-7		
15	232	89	15-06-2001	Landsat-7	08-12-2001	Landsat-7
16	233	90	22-08-2000	Landsat-7	29-11-2001	Landsat-7

17	232	90	14-07-2000	Landsat-7	08-12-2001	Landsat-7
18	231	90	23-07-2000	Landsat-7	18-01-2002	Landsat-7
19	233	91	22-08-2000	Landsat-7	03-04-2001	Landsat-7
20	232	91	28-04-2001	Landsat-7	08-12-2001	Landsat-7
30	231	91	23-07-2000	Landsat-7	18-01-2002	Landsat-7
21	233	92	22-08-2000	Landsat-7	03-04-2001	Landsat-7
					27-05-2003	Landsat-7
22	232	92	15-06-2001	Landsat-7	11-03-2001	Landsat-7
			05-08-2002	Landsat-7		
23	231	92	26-07-2001	Landsat-7	18-01-2002	Landsat-7
					20-03-2001	Landsat-7
24	233	93	16-04-2000	Landsat-7	22-08-2000	Landsat-7
25	232	93	17-07-2001	Landsat-7	11-03-2001	Landsat-7
26	231	93	07-07-2000	Landsat-7	18-01-2002	Landsat-7
27	233	94	22-08-2000	Landsat-7	17-02-2002	Landsat-7
					22-04-2002	Landsat-7
28	232	94	17-07-2001	Landsat-7	14-05-2001	Landsat-7
29	231	94	07-07-2000	Landsat-7	18-01-2002	Landsat-7
					27-10-2000	Landsat-7
Imágenes con nubes						

Tabla 4.3. Imágenes zona sur

Escenas	Path	Row	Invierno	satelite	Verano	satelite
1	233	95	22-08-2000	Landsat-7	22-04-2002	Landsat-7
2	232	95	14-07-2000	Landsat-7	02-04-2003	Landsat-7
					17-05-2002	Landsat-7
3	231	95	14-08-2002	Landsat-7	07-05-2001	Landsat-7
			27-10-2000	Landsat-7	15-02-2003	Landsat-7
4	230	95	04-08-2001	Landsat-7		
			19-07-2001	Landsat-7		
5	232	96	14-07-2000	Landsat-7	14-05-2001	Landsat-7
			12-06-2000	Landsat-7		
6	231	96	10-07-2001	Landsat-7	07-05-2001	Landsat-7
7	230	96	04-08-2001	Landsat-7	15-02-2003	Landsat-7
8	229	96	05-02-2002	Landsat-7	12-07-2001	Landsat-7
			28-03-2003	Landsat-7		
9	228	96	09-07-2001	Landsat-7	27-02-2001	Landsat-7
			22-08-2001	Landsat-7		
10	227	96	30-07-2001	Landsat-7	09-04-2001	Landsat-7
11	231	97	11-08-2001	Landsat-7	09-09-2000	Landsat-7
12	230	97	04-08-2001	Landsat-7	16-03-2002	Landsat-7
13	229	97	12-07-2001	Landsat-7	16-02-2000	Landsat-7
			16-10-2001	Landsat-7		
14	228	97	18-07-2000	Landsat-7	27-02-2001	Landsat-7
15	227	97	11-07-2000	Landsat-7	07-02-2002	Landsat-7
16	230	98	04-08-2001	Landsat-7	29-05-2000	Landsat-7
17	229	98	21-05-1985	Landsat-5		
18	228	98	05-05-2002	Landsat-7		

19	227	98	29-09-2000	Landsat-7	30-03-2003	Landsat-7
					07-02-2002	Landsat-7
20	226	98	08-10-2000	Landsat-7	31-01-2002	Landsat-7
			05-04-2002	Landsat-7	14-12-2001	Landsat-7
21	227	99	29-09-2000	Landsat-7	08-03-2001	Landsat-7
			15-04-2003	Landsat-7		
22	226	99	27-08-2002	Landsat-7	19-02-2003	Landsat-7
			09-11-2000	Landsat-7		
23	225	99	30-08-2000	Landsat-7	22-01-2001	Landsat-7
			05-11-2001	Landsat-7	13-05-2001	Landsat-7
Imágenes con nubes						

Las imágenes de la zona sur que se presenta en la **Tabla 4.3.**, se distribuyen entre los años 2000 y 2003, principalmente, existiendo una excepción con una imagen de 1985. Lo anterior se debe a la imposibilidad de contar con una imagen sin cobertura, total o casi total, de nubes que fuera más actualizada. La cantidad de imágenes con cobertura parcial de nubes fue de 28. Para esta zona se analizó un total de 58 imágenes correspondientes a 23 escenas.

A continuación se presenta la **Tabla 4.4.** las imágenes Landsat utilizadas por año, para las 3 zonas.

Tabla 4.4. Años de las imágenes Landsat

AÑOS	Nº IMAGENES
1985	1
2000	42
2001	80
2002	25
2003	10
2004	13
2005	12
2006	2

La cobertura digital de humedales fue desarrollada en plataforma SIG, bajo el sistema de proyección y coordenadas UTM, Datum WGS84, huso 19 sur. Parámetros cartográficos utilizados ampliamente en la generación de información digital y oficial en Chile, incluido el Ministerio del Medio Ambiente. El archivo corresponde a una cobertura digital (*shape*) y fue realizado con la versión 9.2 del Software ArcGis. Este formato es compatible y transferible a una gama amplia de Sistemas de Información Geográfica pudiéndose manipular su base de datos y archivo digital en diferentes plataformas migratorias, incluso para Sistemas de Intranet como los que actualmente desarrolla el Ministerio del Medio Ambiente.

El producto final considera el catastro de todos los cuerpos de agua, incluidos lagos, lagunas, ríos, embalses. Así como, toda la vegetación hidrófila asociada a estos cuerpos de agua, detectables con imágenes Landsat de 30 metros de resolución espacial.

Además se incluye una clase de agua-vegetación la que incorpora estos 2 recursos, cuando la resolución espacial y la mezcla espectral no permite separarlos.

Técnicamente, los límites dados por la resolución espacial de las imágenes permitieron registrar todas las clases definidas, mayor a 0.4 ha, identificándose algunas excepciones que alcanzaron incluso polígonos de hasta 0,1 ha de superficie.

En cuanto a la resolución espectral, los límites de detección fueron dados por el índice de vegetación NDVI, calculado para cada una de las imágenes utilizadas en el Catastro. Como mencionado anteriormente, los valores de este índice varían entre -1 y 1, siendo los valores negativos los que identifican agua y los valores sobre 0 la vegetación, con diferentes grados de vigorosidad a medida que se acercan a 1. Con lo anterior, se consideró agua, todos aquellos elementos que arrojaron valores negativos del índice y vegetación los valores positivos. Para el tipo agua-vegetación primó la fotointerpretación debido al umbral de detección superficial, dado por el tamaño de píxel de la imagen.

Para la identificación de cada clase se consideró, además de lo detallado en el párrafo anterior, criterios de fotointerpretación como: textura, forma, orientación y ubicación relativa del elemento interpretado con respecto a otros elementos de la escena. Para ello se utilizó, además del NDVI, la imagen visualizada en color verdadero y composiciones en falso color, las que fueron utilizadas alternadamente durante la fotointerpretación. Lo anterior a objeto de poder discriminar cuando nos encontramos en los valles o en los fondos de quebradas, pudiendo verificar la presencia de sombras o de nieve que distorsiona la interpretación. La **Figura 4. 1** esquematiza el proceso de identificación de humedales con las imágenes Landsat.

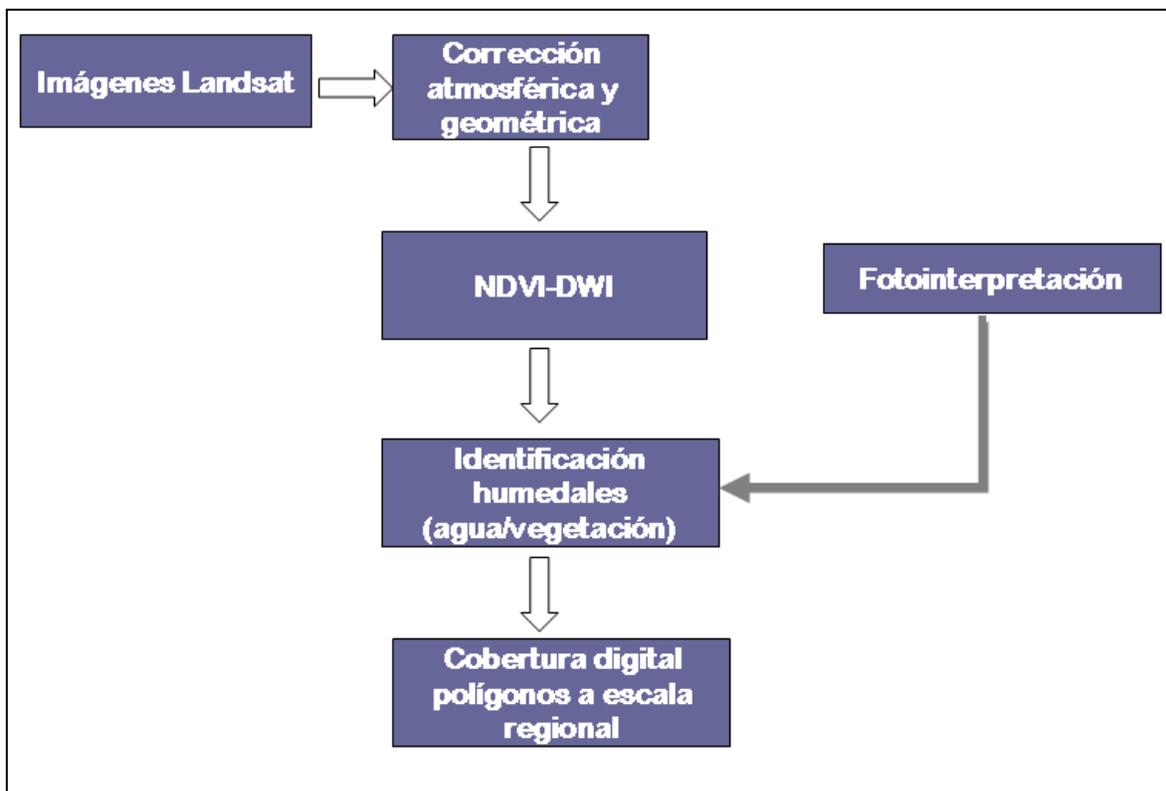


Figura 4.1 Proceso de identificación de humedales.

El *shape* obtenido como resultado final de la cobertura digital de los humedales del país identificados a partir de las imágenes Landsat se presenta en la **Figura 4.2**. Las **Figuras 4.3, 4.4 y 4.5**, representan los humedales en las zona norte, centro y sur a una escala de mayor detalle.

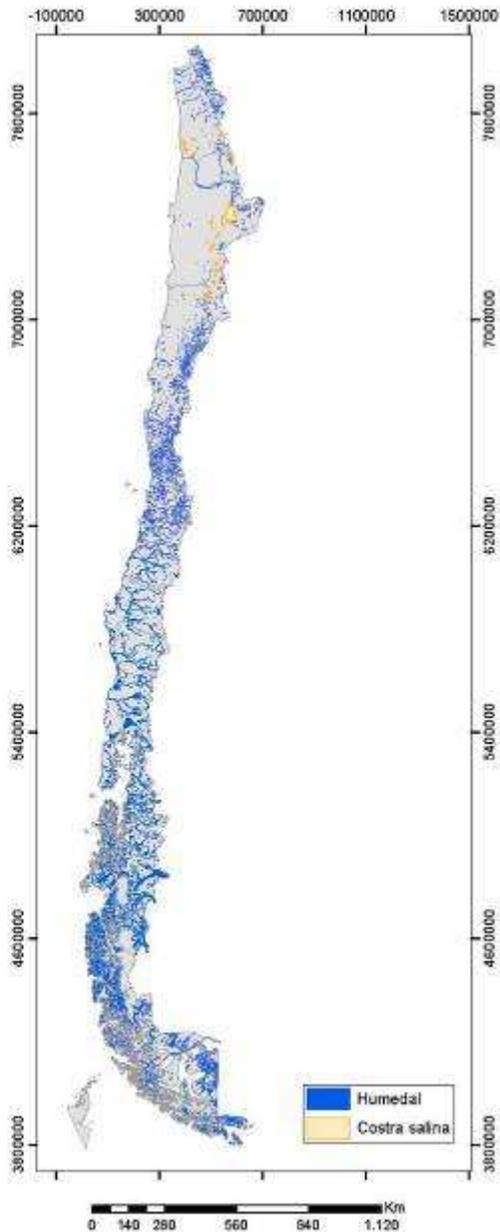


Figura 4.2. Cobertura final de los humedales de Chile.

Zona Norte

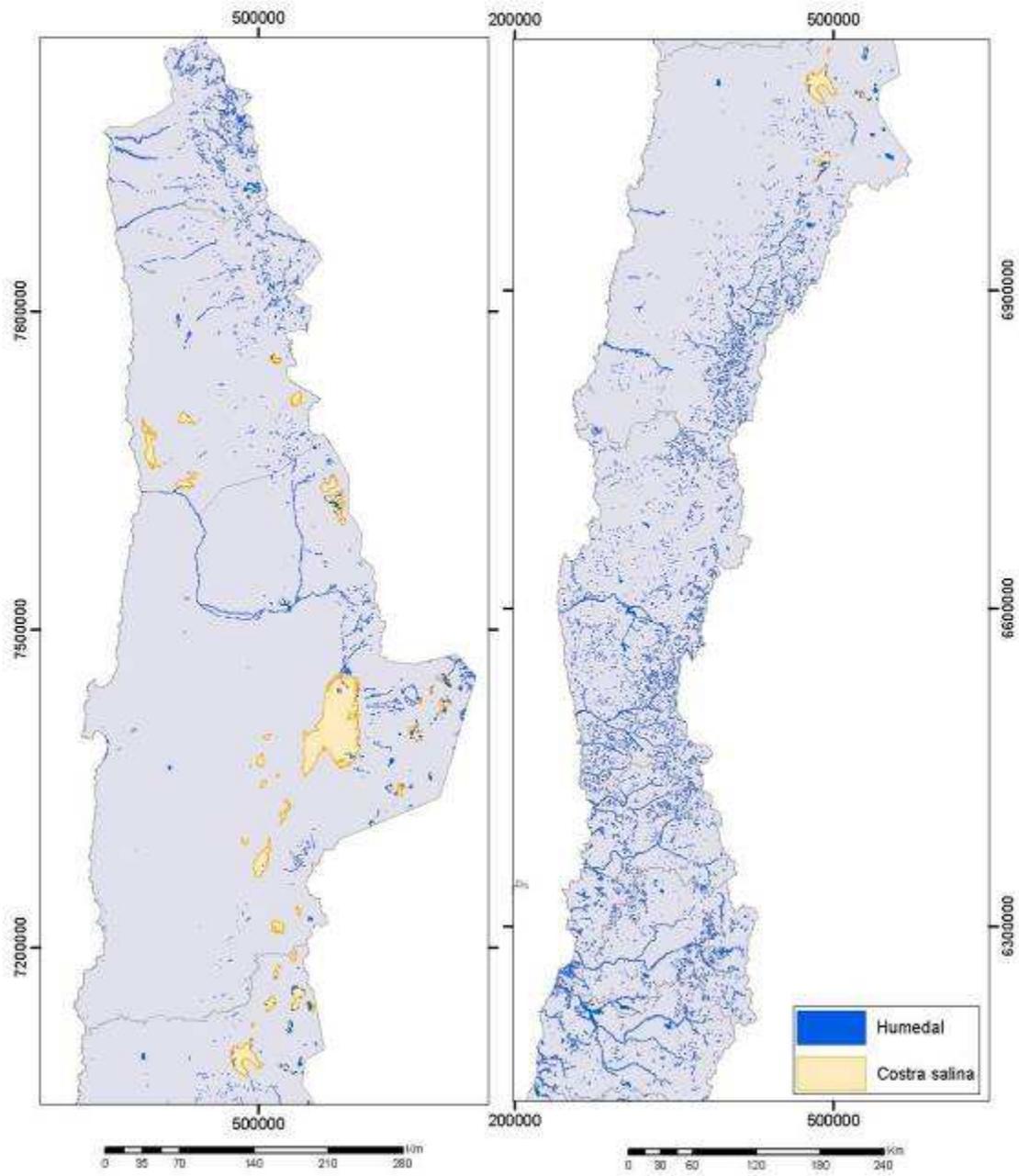


Figura 4.3. Cobertura de humedales. Detalle zona norte.

Zona Centro

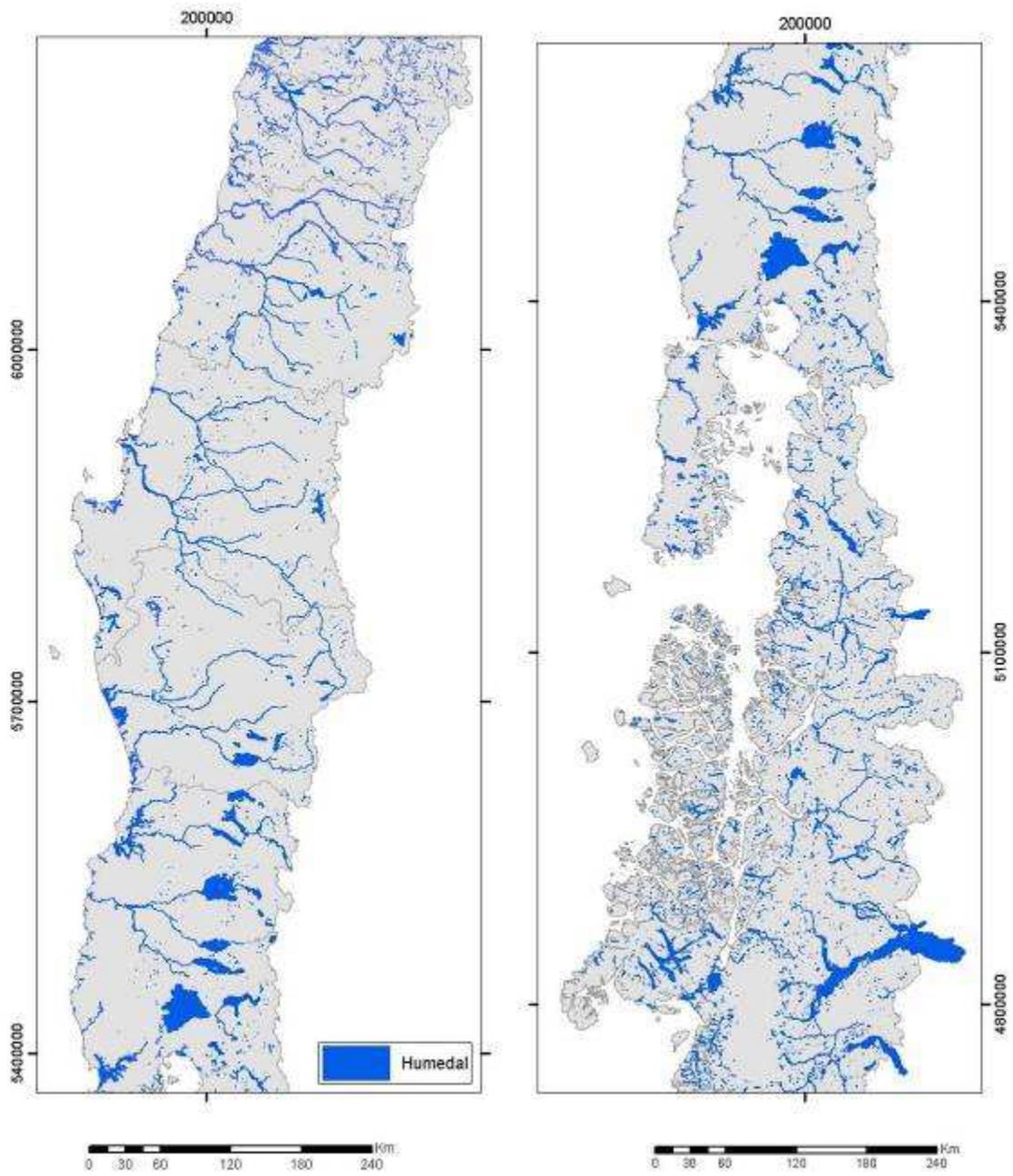


Figura 4.4. Cobertura de humadales. Detalle zona centro.

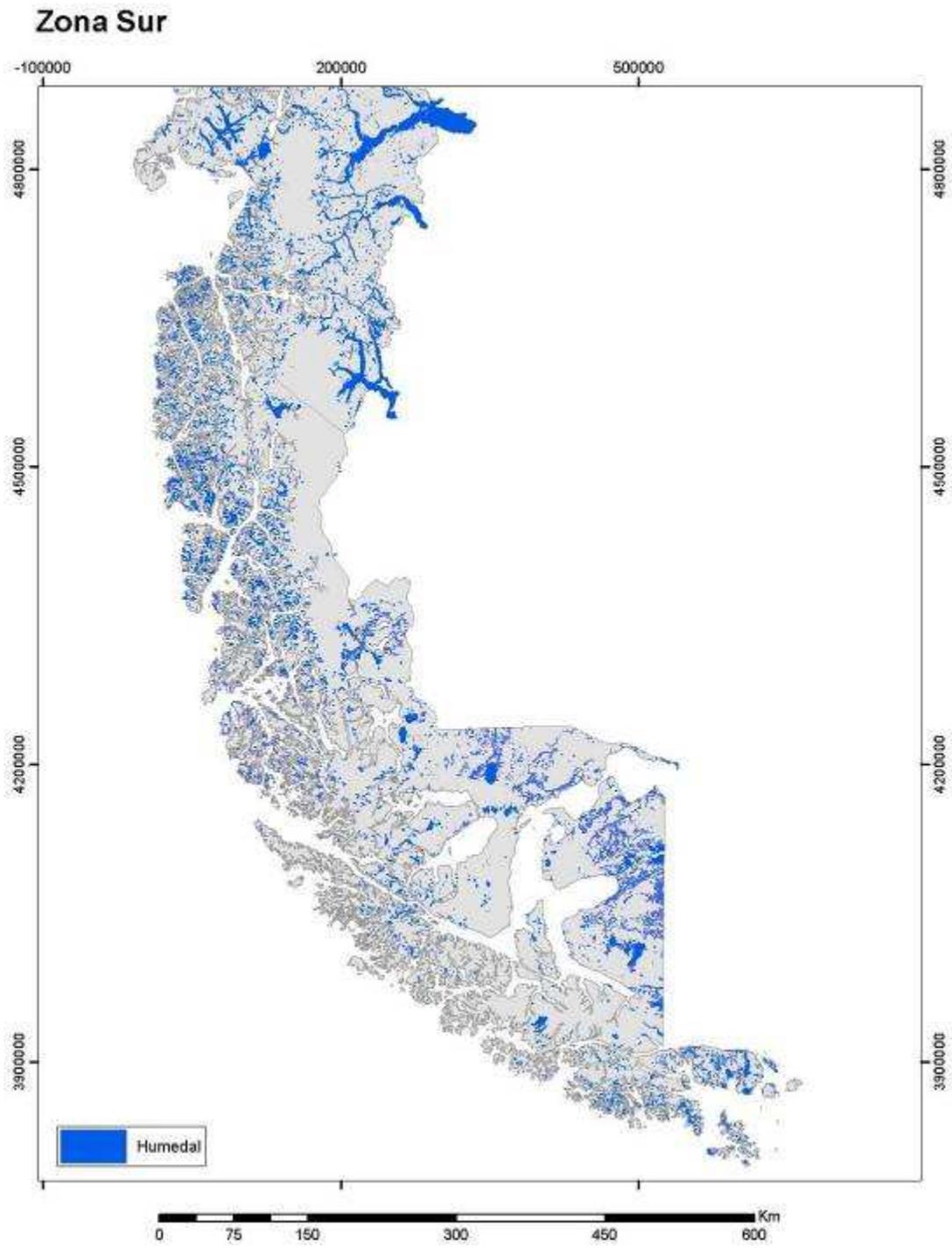


Figura 4.5. Cobertura de humedales. Detalle zona sur.

Con los resultados del Catastro, fue posible obtener información sistematizada por clase de elemento. Este análisis arrojó una superficie país de 1.986.167 ha de humedales, traducidas en las tres tipologías básicas, a saber: “agua” 1.411.586,3 ha; “vegetación” 301.342,4 ha y finalmente “vegetación-agua” 273.238,9 ha. Estos resultados se pueden apreciar en la **Tabla 4.5**.

Tabla 4.5. Superficies de humedales según tipología.

CLASES				
REGION	AGUA (ha)	VEGETACION (ha)	VEGETACION-AGUA (ha)	TOTAL (ha)
Arica y Parinacota	3020.47	22014.75	6306.95	31342.17
Tarapacá	446.26	12496.84	3387.46	16330.56
Antofagasta	15649.50	18245.82	11767.74	45663.06
Atacama	8476.34	28840.99	2274.05	39591.38
Coquimbo	5622.55	35431.57	8905.82	49959.94
Valparaíso	4169.17	13325.85	20678.81	38173.83
Metropolitana	5893.48	15124.43	9774.10	30792.01
O'Higgins	9889.17	4000.40	32931.37	46820.94
Maule	25450.59	11293.28	41807.75	78551.62
Bio Bio	52994.10	8170.28	2967.76	64132.14
Araucanía	55983.56	6136.94	8256.15	70376.65
Los Ríos	127987.48	6192.46	2498.76	136678.70
Los Lagos	234167.03	23153.87	10019.62	267340.52
Aysén	568613.57	6634.33	15200.87	590448.77
Magallanes	293223.02	90280.56	96461.71	479965.29
TOTAL (ha)	1411586.29	301342.37	273238.92	1986167.58

Los gráficos presentes en la **Figura 4.6** y **4.7**, muestran el porcentaje de tipologías por Región y la distribución superficial de ellas, respectivamente. La **Figura 4.8**, muestra las tipologías espacializadas.

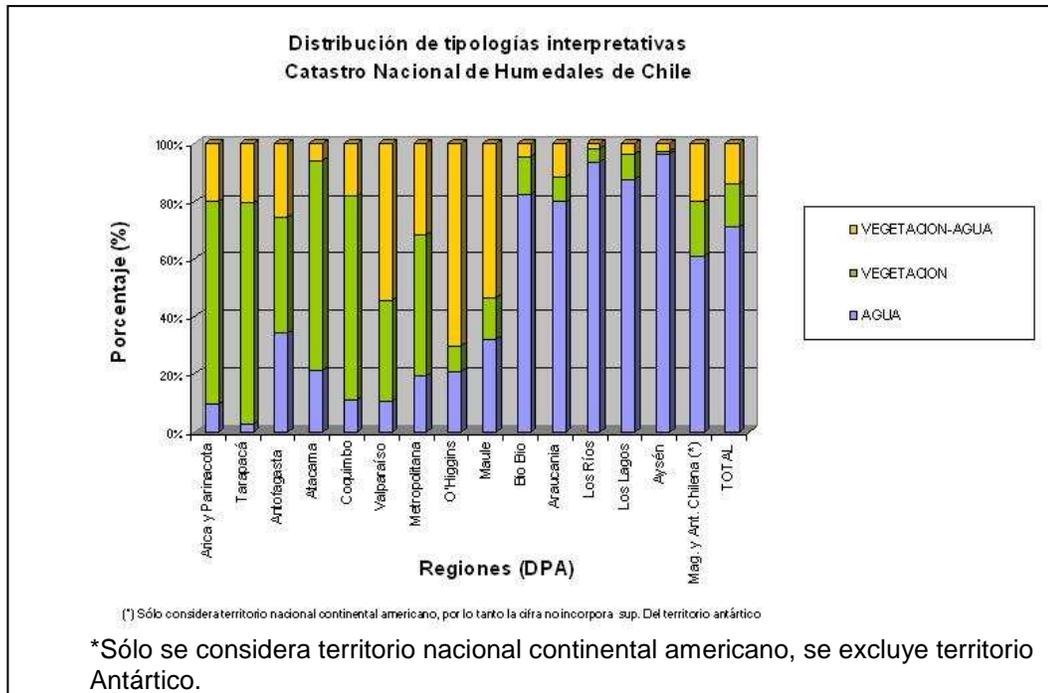


Figura 4.6. Porcentaje de tipologías por Región.

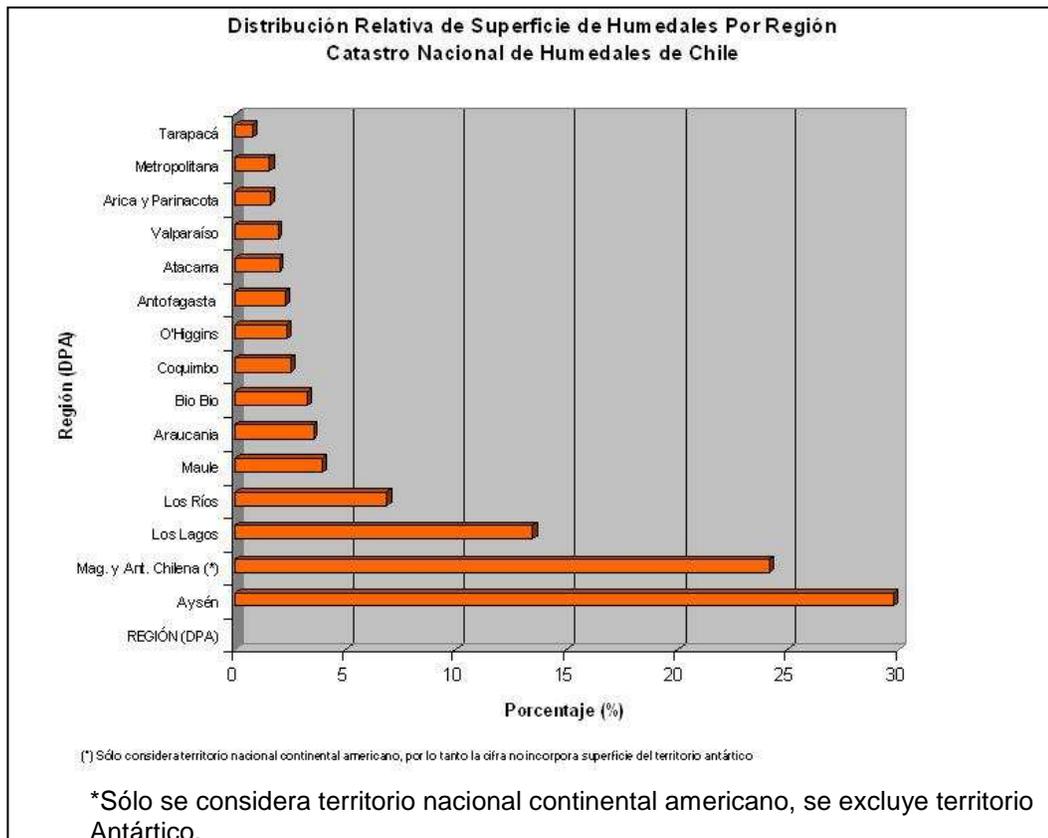


Figura 4.7. Distribución superficial de humedales por Región.

La Tabla 4.6 muestra la superficie de los humedales de la región identificados en el Catastro que están bajo alguna categoría de protección del SNASPE y su porcentaje de representación a nivel regional.

Tabla 4.6. Representación del SNASPE en el Catastro de humedales por región.

Región	Superficie Catastro dentro del SNASPE por Región			Superficie Total Región (Ha)	Superficie Catastro dentro del SNASPE, en el total de superficie regional		Superficie Total SNASPE (Ha)	Superficie Catastro dentro del SNASPE, en el total de superficie del SNASPE regional	
	Superficie (Ha)	%	Ranking		%	Ranking		%	Ranking
Arica Y Parinacota	10074.05	2.6	6	1687330	0.60	11	364148	2.77	8
Tarapacá	12089.55	3.2	5	4222580	0.29	13	376349	3.21	6
Antofagasta	25382.41	6.7	4	12604910	0.20	4	364687	6.96	2
Atacama	6904.40	1.8	7	7517620	0.09	12	139668	4.94	3
Coquimbo	176.43	0.05	13	4057990	0.00	15	13394	1.32	12
Valparaíso	1887.27	0.5	9	1639610	0.12	8	21939	8.60	1
Metropolitana De Santiago	438.68	0.1	12	1540320	0.03	10	21814	2.01	9
Libertador General Bernardo O'higgins	708.69	0.2	11	1638700	0.04	6	40150	1.77	11
Maule	118.66	0.03	14	3026910	0.00	7	17887	0.66	13
Biobío	299.45	0.1	12	3706870	0.01	14	141476	0.21	15
La Araucanía	1522.65	0.4	10	3184230	0.05	9	296720	0.51	14
Los Ríos	3275.15	0.9	8	1842950	0.18	1	98435	3.33	5
Los Lagos	36392.40	9.5	3	4858360	0.75	2	817492	4.45	4
Aysén	95963.23	25.2	2	10849440	0.88	3	4901511	1.96	10
Magallanes y Antártica Chilena (*)	186170.29	48.8	1	13229110	1.41	5	6621957	2.81	7
TOTAL	381403	100.0		14569895	0.5		14237628	2.7	

(*) Sólo considera territorio nacional continental americano

Este cuadro nos permite dar la mirada aplicada del catastro de humedales y desarrollar una aproximación a los mecanismos e instrumentos de gestión territorial del Estado. Elaborando un cruce de los resultados iniciales del Catastro de humedales con información del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por Región, nos permite establecer a priori una jerarquización regional de la participación del recurso humedal en los instrumentos de protección de los RRNN del país. Por una parte nos plantea la inquietud acerca del bajo grado de consideración del recurso en la protección amparada por ley y por otra, en qué medida su diversidad es representada adecuadamente en los ambientes y paisajes resguardados. Más allá, nos plantea una reflexión con datos país, de los criterios de valoración y priorización que hoy son manejados en el sector. Sólo el 0.5% de los humedales del país se encuentran bajo áreas de protección y equivalen a 2.7% de las áreas protegidas.

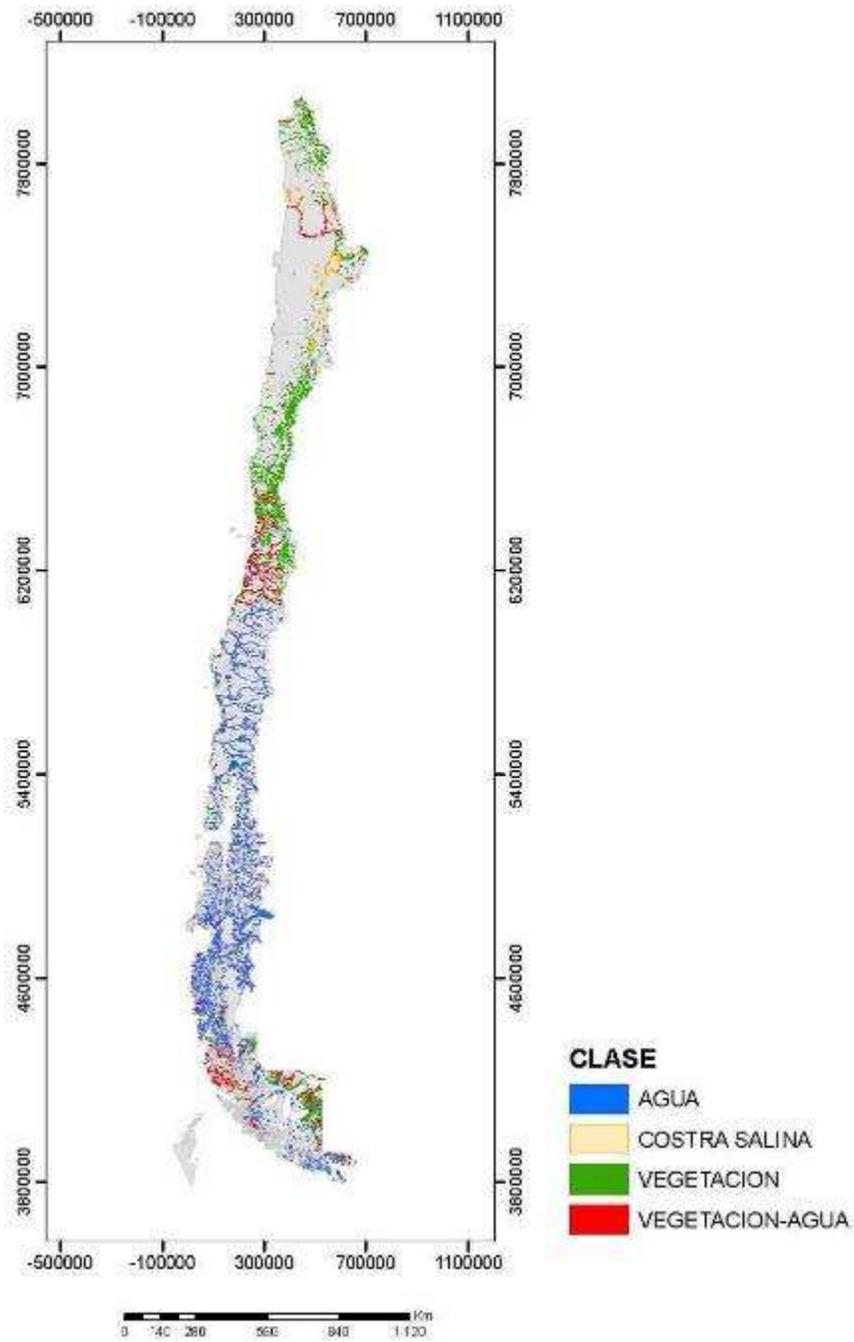


Figura 4.8. Tipologías identificadas en el Catastro de humedales.

4.1.2 Calibración del catastro

Para validar los resultados obtenidos, en la cobertura nacional de humedales obtenida a partir de las imágenes Landsat, se utilizaron dos fuentes de control, una de las cuales es la cartografía de los cuerpos de agua de la red hidrográfica de Chile, escala 1:50.000, elaborada por el Instituto Geográfico Militar (IGM), la que fue obtenida mediante convenio entre el Ministerio del Medio Ambiente y el Servicio Agrícola ganadero (SAG). Otra de las fuentes de control de información, es la base de datos espacial elaborada por el SAG, de las unidades vegetacionales altoandinas entre la XV y la III Región, información que fue generada utilizando sensores remotos (imágenes Landsat) e información de terreno.

El procedimiento utilizado para calibrar el Catastro de los humedales y así validar la información generada se resume en la Figura 4.9.

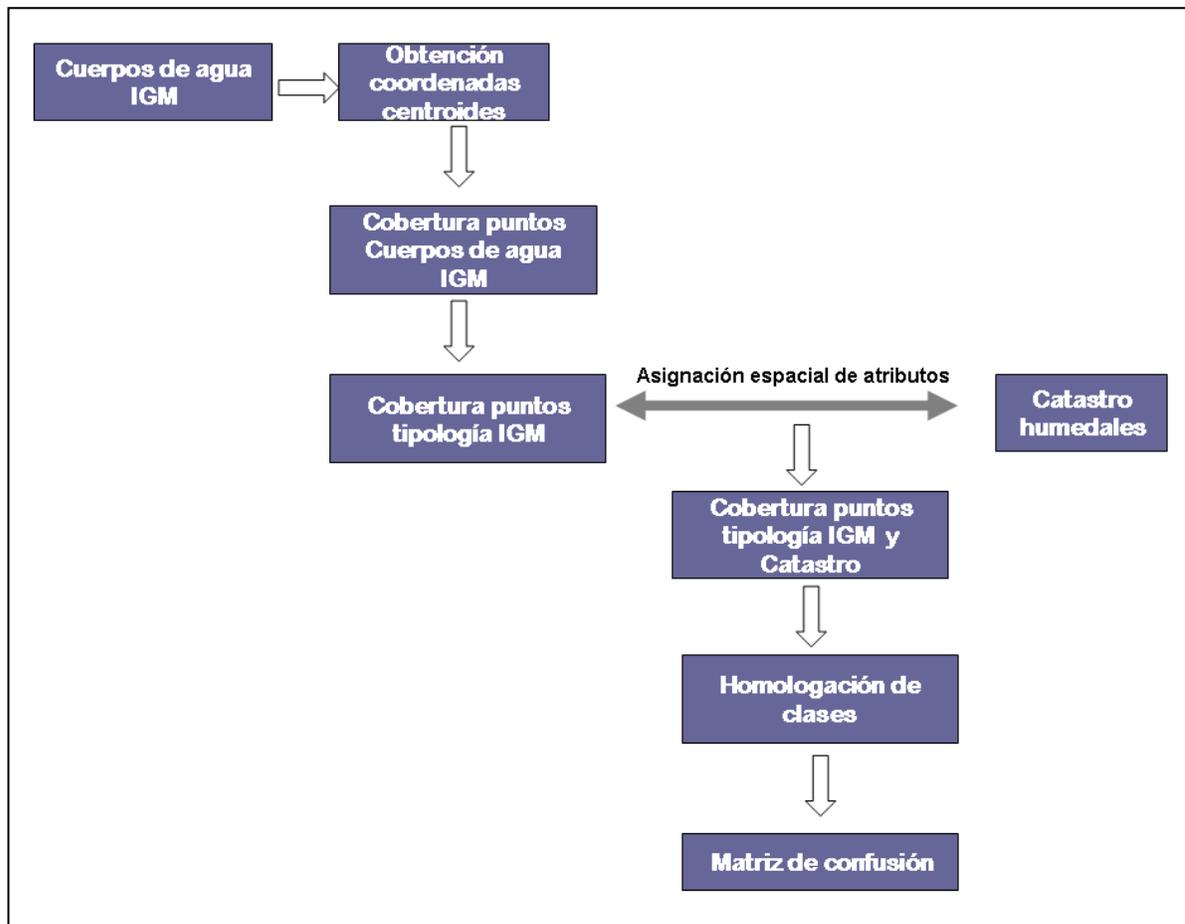


Figura 4.9. Procedimiento de calibración del Catastro de humedales v/s cuerpos de agua IGM.

El primer paso consistió en transformar los polígonos de la cobertura de los cuerpos de agua del IGM a puntos, utilizando las coordenadas del centroide de cada polígono. Esta nueva cobertura conservó los atributos de la base de datos de la cobertura original

(cuerpos de agua IGM). Posteriormente, mediante la asignación espacial de atributos – realizada en el SIG-, se asignó a cada punto datos del Catastro mediante la correspondencia espacial (puntos v/s polígonos). De esta manera se generó una cobertura de puntos con información de los atributos de ambas coberturas involucradas en el análisis.

El paso siguiente fue la homologación de las tipologías, las clases definidas en la cobertura de hidrografía IGM, se igualaron a las definidas para el Catastro de humedales (Tabla 4.7).

Tabla 4.7. Tipología Catastro de humedales

Catastro humedales
Tipo
Agua
Agua-vegetación
Vegetación
Relave
Costra salina

En La Tabla 4.8 se aprecian las tipologías del IGM y su homologación con las del Catastro.

Teniendo homologadas las clases en la tabla de atributos, se procedió al cálculo de la matriz de confusión, quedando como se observa en la Tabla 4.9. El resultado de este análisis arrojó un 76,8 % de equivalencia entre las clases comparadas.

Tabla 4.8. Homologación tipologías Catastro e IGM.

Tipo IGM	Equivalencia Tipo Catastro
Canal	Agua
Embalse	Agua
Estero	Agua
Esteros y quebradas	Agua
Isla	Agua
Lago	Agua
Lago o laguna	Agua
Pantano, mallín	Agua-vegetación
Piscina	Agua
Ríos anchos o esteros	Agua
Salar, laguna seca	Costra salina
Tranque	Agua

Tabla 4.9. Matriz de confusión: hidrografía IGM - Catastro humedales

Clases Catastro	Clases hidrografía IGM				Total
	Agua	Costra salina	Vegetación	Vegetación -Agua	
Agua	5771	119	407	947	7244
Costra salina	77	97	75	87	336
Vegetación	0	0	0	0	0
Vegetación -Agua	3	1	63	14	81
Total	5851	217	63	14	7661

Nota: los valores en la diagonal indican la coincidencia entre las clases.

Con el cálculo de la matriz de confusión se obtuvo una exactitud total del 76,8%, este porcentaje esta dado por el cuociente del total de coincidencias entre las clases contrastadas (IGM - Catastro) y el total de datos clasificados.

La exactitud total obtenida indica que el 76,8% de las entidades espaciales –en su mayoría cuerpos de agua- del IGM están contenidos en la cobertura del Catastro de humedales. El porcentaje de error (23,2%) se distribuye en diferencias de asignación de las clases y/o la ausencia de la clase vegetación en la tipología IGM respecto al Catastro.

Para la calibración de la clase de vegetación se utilizó la cobertura de la Vegetación Azonal Altoandina (UVA) del SAG, la cual abarca geográficamente las regiones XV a la III. La metodología utilizada para la calibración es homologa a la utilizada con el IGM, el procedimiento de esta se observa en la **Figura 4.10**.

El proceso comenzó por la transformación de los polígonos de las UVA a puntos mediante el cálculo de coordenadas del centroide de cada polígono. Esta nueva cobertura conservó los atributos de la base de datos de la cobertura original (UVA). Posteriormente, mediante la asignación espacial de atributos –realizada en el SIG-, se asignó a cada punto datos del Catastro mediante la correspondencia espacial (puntos v/s polígonos). De esta manera se generó una cobertura de puntos con información de los atributos de ambas coberturas involucradas en el análisis. Luego se homologaron de las tipologías a la del Catastro. Las equivalencias de las clases se observan en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Homologación tipologías Unidades Vegetacionales Azonales y Catastro.

Tipo IGM	Equivalencia Tipo Catastro
Vegetación	Vegetación
Salar	Costra salina

Posteriormente se procedió al análisis de la matriz de confusión (Tabla 4.11) la que arrojó una exactitud entre las clases comparadas de 82,3%. Este porcentaje indica que la mayoría de los polígonos de la cobertura de Unidades Vegetacionales Azonales está representada en el Catastro de humedales. El porcentaje de error (17,7%) corresponde a

clases que no coinciden y/o a la ausencia de clases en la cobertura de vegetación azonal respecto al Catastro.

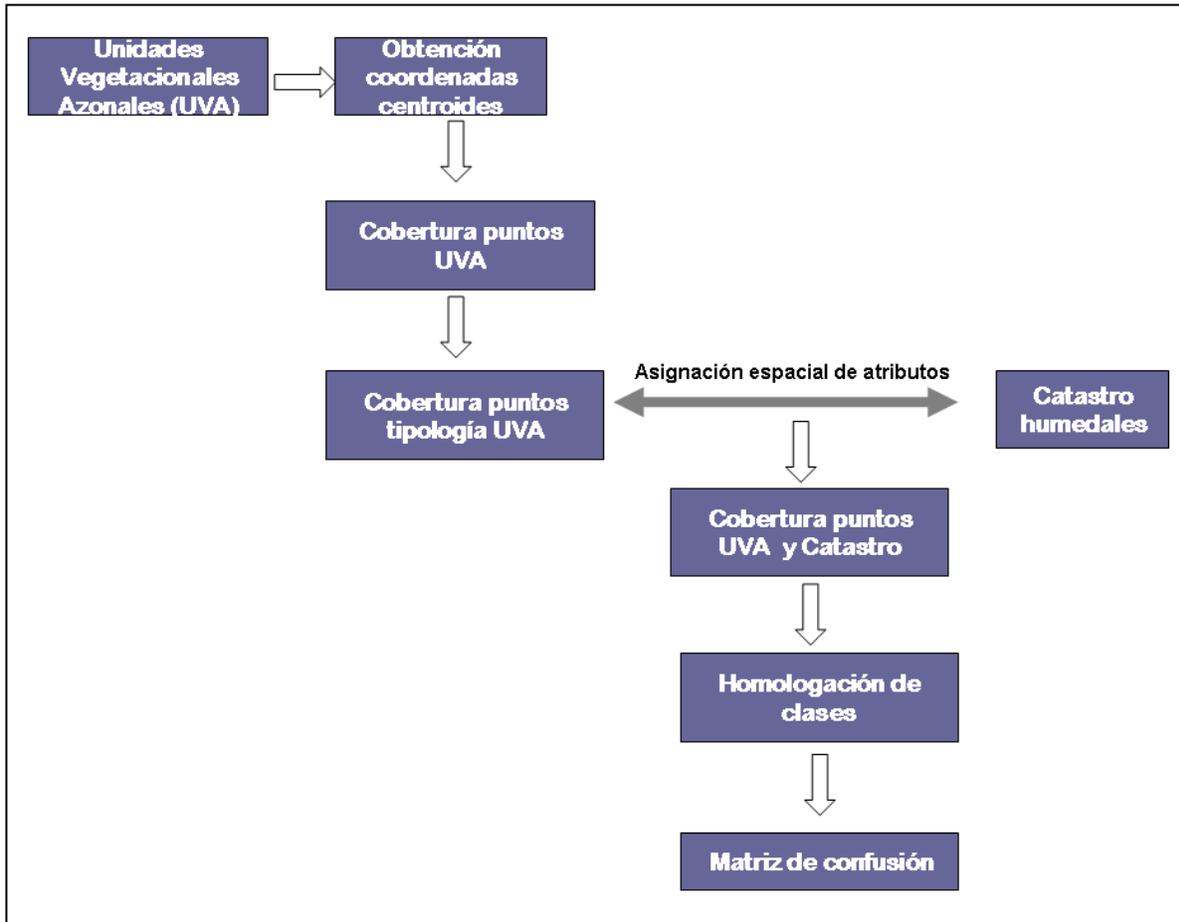


Figura 4.10. Procedimiento de calibración del Catastro de humedales v/s Unidades Vegetacionales Azonales.

Tabla 4.11. Matriz de confusión: Unidades Vegetacionales Azonales - Catastro humedales

Clases Catastro	Clases Unidades Vegetacionales Azonales				Total
	Agua	Costra salina	Vegetación	Vegetación -Agua	
Agua	0	0	0	0	0
Costra salina	5	3	27	3	38
Vegetación	56	106	2865	418	3445
Vegetación -Agua	0	0	0	0	0
Total	61	109	2892	421	3483

Nota: los valores en la diagonal indican la coincidencia entre las clases.

4.2 Condición ambiental de los humedales

4.2.1 Modelo conceptual

Los humedales son sistemas ecológicos vinculados estrechamente con el ciclo hidrológico, la condición basal que permite la presencia y desarrollo de los humedales es la presencia del agua. Este recurso no es utilizado exclusivamente por los humedales, sino que constituye un eje central para el desarrollo de las comunidades humanas, lo cual se ha traducido en un conflicto por su demanda creciente. En la actualidad la principal amenaza para los humedales es la menor disponibilidad de agua por diversos usos de origen antrópico.

La condición ambiental de los humedales es la resultante entre las propiedades estructurales y funcionales de los humedales (ej. riqueza y abundancia de especies, servicios ecosistémicos) y las amenazas que afectan su coherencia estructural y funcional (**Figura 4.11**). De este modo, el aumento del nivel de amenaza sobre un humedal, necesariamente afectará su condición ecológica. Dependiendo de la naturaleza e intensidad de la amenaza es posible observar modificaciones en algunos componentes (ej. calidad de agua, abundancia de especies), hasta alteraciones en procesos (ej. estado trófico).

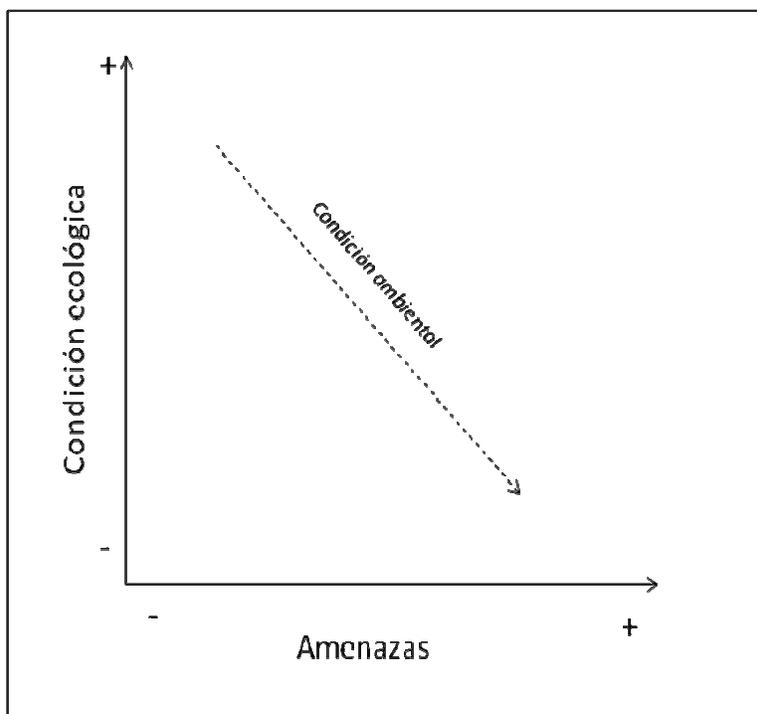


Figura 4.11. Definición conceptual de la condición ambiental de los humedales

4.2.2 Tipos de amenazas

A partir de las amenazas señaladas en el punto 3.2, se realizó una revisión de bases de datos disponibles en diferentes instituciones públicas, las que se encuentran señaladas en la **Tabla 4.12**. En la cual se detalla el tema de interés, el nombre del archivo o cobertura espacial (*shape*), una breve descripción de la información contenida, la cobertura geográfica del tema, si esta se encuentra a nivel nacional o regional, la fuente de la información y se señala, en el campo “Amenaza” aquellas coberturas que representan, o podrían representar, una amenaza para la salud de los humedales.

Tabla 4.12. Fuentes de información y posibles amenazas.

Tema	Nombre del archivo	Descripción	Cobertura	Fuente	Amenaza
Uso de suelo	Catastro Bosque Nativo	Uso del suelo de todo el territorio nacional por región con información del uso del suelo y especies dominantes.	Regional	CONAMA CONAF	X
SNASPE	01_RN_F15_QR49	Ubicación de Reservas Naturales en el país	Regional	CONAMA	
SNASPE	02_PN_F03_QR32_mej3	Ubicación de Parque Naturales del país	Regional	CONAMA	
SNASPE	04_MN_F03_QR15_mej3	Ubicación de Monumentos Naturales del país	Regional	CONAMA	
Sitios prioritarios	sitios_prioritarios_junio 338	Ubicación de los sitios prioritarios en el país	Regional	CONAMA	
Ecotipos	Ecotipos	Clasificación de los humedales del país por región	Regional	CONAMA	
SEA	Pto_representativo_geo_v4_15	Ubicación de todos los proyectos que ingresaron al sistema de evaluación ambiental después del año 1995	Regional	CONAMA	X
Agroclima	Agroclima	Información climática por región	Regional	CNR	X
Viento	Suelos	Velocidades y orientación de vientos por región.	Regional	CNR	
Clasificación suelo	Suelos	Información sobre capacidad de uso, serie de suelo, aptitud de riego, categoría de drenaje por región		CNR	
Acuíferos	acuiferos_país	Ubicación de acuíferos del país	Nacional	CNR	

Tratamiento de agua	tratadas	Ubicación de planta de tratamientos aguas servidas y tipo de planta (emisario submarino, fosa séptica, otra)	Regional	CNR	X
Canales	canales	Ubicación canales e información acerca de la propiedad, usuarios y derechos de aguas.	Regional	CNR	
Embalses	embgran / embpeq	Ubicación e información de los embalses (propiedad, fuente hídrica, tipo)	Regional	CNR	
Fuentes contaminantes	FuentesCont	Ubicación de las fuentes contaminantes, tipo de descargas, pertenencia, volumen de descarga, nombre del cuerpo receptor de la descarga, parámetros de calidad de agua.	Regional	CNR	X
Ley18450	Ley18450	Información de los proyectos que se han acogido a esta ley	Regional	CNR	
Calidad de agua	calidadagua	Ubicación de estaciones de calidad de aguas de la DGA	Regional	CNR-DGA	X
Riego	SistemRiego	Superficies de riego	Regional	CNR	X
Cuencas	Cuencas	Delimitación de cuencas, subcuencas y subsubcuencas	Regional	DGA	
PTAs	PTAS_actual_122010	Distribución espacial de plantas de tratamiento de aguas	Nacional	DGA	X
Calidad de aguas	Est Calidad de Agua	Estaciones calidad de agua	Nacional	DGA	X
Humedales altoandinos	unidades vegetación azonal	Distribución de los humedales altoandinos y descripción de la vegetación azonal	Regiones XV a III	SAG	
Red hidrográfica	Hidrografía 1:50,000	Hidrografía (cursos de agua y contorno de lagos y lagunas)	Regional	IGM	
Base Datos Humedales	Base Datos Humedales 64	Ubicación geográfica, tipo de humedal, riqueza, información de la existencia de estudios elaborados por humedal	Nacional	Sernapesca	

4.3 Rol ambiental de los humedales como indicador a nivel de cuenca

4.3.1 Modelo conceptual

El patrón hidrológico de la cuenca es el principal factor forzante para los humedales y por ello, diferencias en magnitud, frecuencia y duración del caudal generan una variedad de respuestas dentro de éste. Por ende, los humedales son un reflejo de las condiciones ambientales presentes en la cuenca hidrológica, donde los aportes directos (ej. ríos) o difusos (ej. escorrentía) afectan su comportamiento (**Figura 4.12**).

Durante el periodo de crecidas o de mayores caudales, se produce una reducción de la producción biológica, por el “lavado hidráulico” de los componentes bióticos y abióticos del humedal. En cambio, durante el periodo de estiaje la producción biológica aumenta debido al incremento del tiempo de residencia del agua y de la radiación solar. Esta alta sensibilidad a los cambios climáticos e hidrológicos conlleva a que la organización de los humedales muestre una marcada alternancia temporal y solamente surja cuando las condiciones hidrológicas lo permitan. La estrecha dependencia a las condiciones hidrológicas también es evidente a través del efecto en la disponibilidad de nutrientes, en los niveles de pH, en el grado de anaerobiosis del sustrato, en la salinidad del suelo y en diversas propiedades de los sedimentos.

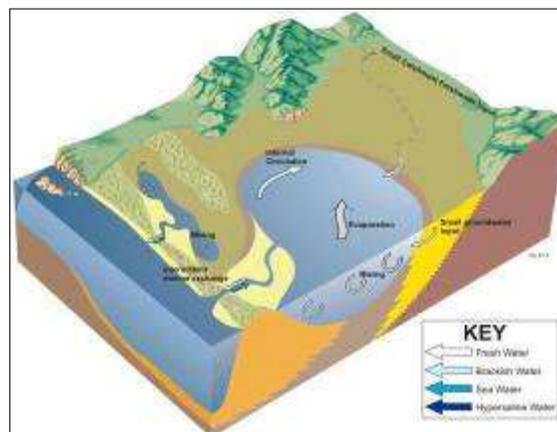


Figura 4.12. Descripción del acoplamiento entre los humedales y la cuenca hidrológica.

Los nutrientes aportados al humedal pueden ser de origen terrestre, provenientes de la cuenca de drenaje, denominados alóctonos, constituyéndose como la principal fuente de energía al ecosistema (**Figura 4.13**). Por otra parte, entre las principales funciones de los humedales esta la capacidad de producción de materia orgánica autóctona, proceso que se denomina eutroficación. Como se señaló anteriormente, la producción biológica en los humedales es regulada por factores externos, como recursos hídricos y aportes de nutrientes, dando como resultado una acumulación progresiva de materia orgánica (**Figura 4.14**).

Los humedales pasan de un estado de bajo contenido de materia orgánica (oligotrófico) hacia un estado de alto contenido de materia orgánica (eutrófico), siendo este proceso unidireccional e irreversible (**Figura 4.15**).

El efecto del aporte de nutrientes de origen antrópico a los humedales, es el incremento en la tasa de acumulación de materia orgánica. Lo que permite establecer los siguientes hechos: i) la eutrofización es un proceso natural de enriquecimiento de los humedales, ii) aportes antrópicos de nutrientes aceleran el proceso de eutrofización, iii) el manejo integrado de los humedales solo permite reducir la velocidad de la eutrofización y, iv) todos los humedales sufren un proceso de envejecimiento o deterioro que altera la estructura y funcionamiento de los mismos.

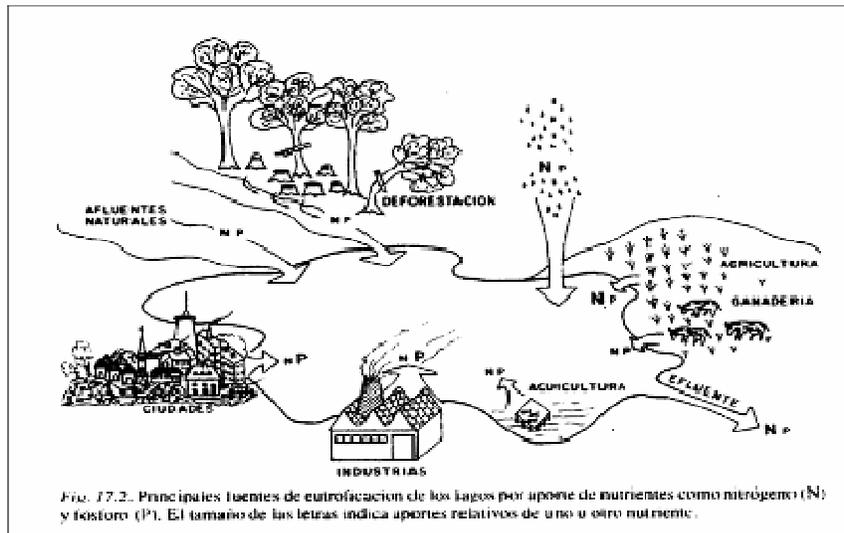


Figura 4.13. Aportes difusos y puntuales de materia orgánica y nutriente desde la cuenca hidrológica hacia los humedales.

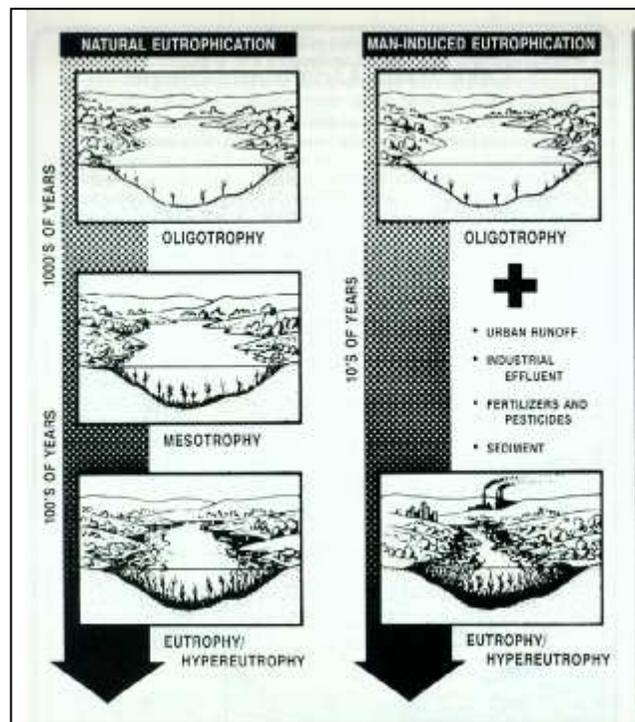


Figura 4.14. Descripción del proceso de eutrofización en humedales.

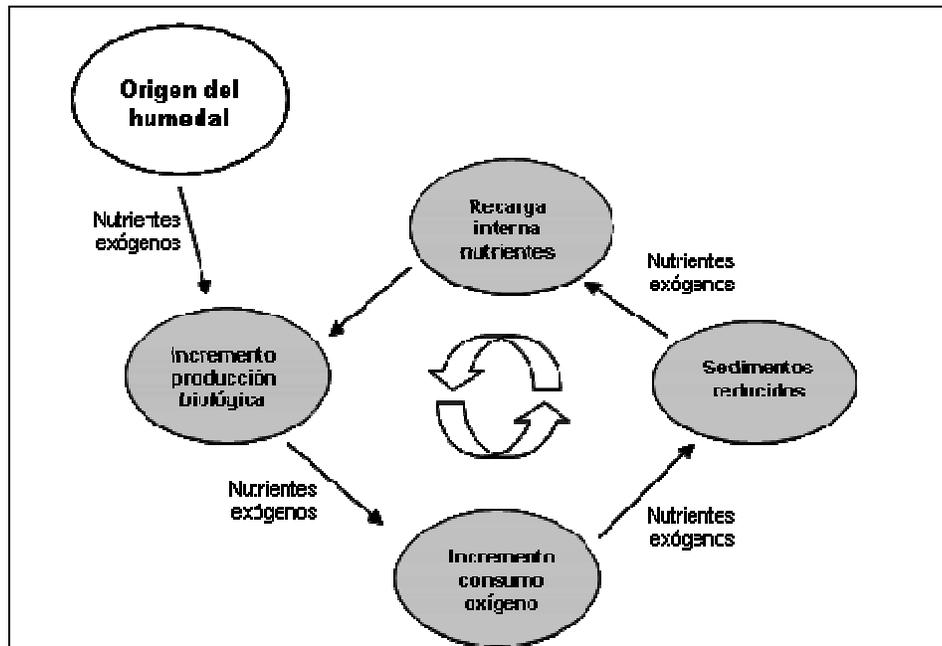


Figura 4.15. Ciclo de producción biológica unidireccional debido a aportes de nutrientes exógenos.

4.3.2 Indicadores de estado según Ecotipos

Cada uno de los elementos bióticos y abióticos que componen la estructura de los humedales responde a las condiciones ambientales en función de sus atributos internos (límites de tolerancia ambiental) y externos (interacciones y agentes forzantes). De este modo, podemos utilizar cualquier componente del humedal para monitorear su “estado” (ej. bioindicadores), y trasladar esa condición al estado del humedal. Para lo cual debemos utilizar el supuesto que el componente escogido representa fielmente la condición global del humedal, o bien, es el componente más sensible que permite detectar cambios tempranos. Es evidente que cuando se desconocen las características básicas de los componentes bióticos y/ abióticos, su uso como bioindicadores es limitado. En este contexto la identificación de variables de estado de los humedales, permite analizar la condición global del humedal sin la necesidad de un análisis detallado de su estructura. Las variables de estado son aquellas que describen el comportamiento global de los humedales.

Las perturbaciones son procesos que afectan la estructura y funcionamiento de los humedales, dependiendo de su comportamiento pueden ser de 2 tipos: i) presión, donde el proceso actúa por un periodo prolongado de tiempo, y ii) pulso, donde existe un evento único. Dentro de este último tipo se encuentran las perturbaciones catastróficas, que son eventos de corta duración pero de alta intensidad. En función del origen, las perturbaciones pueden ser naturales o antrópicas, aún cuando los efectos que generan sobre los humedales pueden ser similares. Las perturbaciones de tipo natural modifican los humedales, pero son procesos que forman parte de la dinámica de los sistemas (ej. crecidas). Los sistemas tienen la capacidad de resistir o absorber el efecto de las perturbaciones naturales (capacidad de resiliencia o buffer), mediante la duplicación de las funciones ecosistémicas, estadios de resistencia, entre otros. En cambio, las perturbaciones antrópicas son frecuentemente procesos o materiales “no conocidos” por los sistemas y por ende, los efectos pueden ser muy variables, pero en la mayoría de los casos de carácter negativo (ej. contaminación).

Tal como se indicó anteriormente, los humedales son regulados principalmente por factores como el caudal, las condiciones climáticas y los nutrientes, entre otros. Sin embargo, no todos los factores tienen la misma jerarquía (“importancia”), en cuanto a su rol como factor forzante.

En la **Figura 4.14** se presenta en forma muy simple la jerarquía de los factores que regulan los humedales, a partir de lo cual se desprende que los factores físicos son los más importantes, para luego continuar con los químicos y por último los biológicos. Esto podemos ejemplificarlo de la siguiente manera: podemos agregar una cantidad de nutrientes extremadamente alta a un humedal sin que ocurran cambios en su condición trófica, debido a que los tiempos de residencia pueden ser bajos. O bien, podemos agregar peces herbívoros a un humedal para controlar la biomasa de plantas acuáticas sin ningún resultado, si es que el humedal presenta una carga de nutrientes alta. En cambio, una alteración en los caudales modifica inmediatamente la masa de los componentes bióticos y abióticos.

Los procesos biológicos en los ecosistemas acuáticos, son una expresión de las condiciones físicas y químicas, que se producen en la columna de agua y sedimentos, modulados por factores forzantes externos. De este modo, cualquier cambio en el

comportamiento de ambas matrices, generará cambios en la composición y abundancia de las comunidades acuáticas.

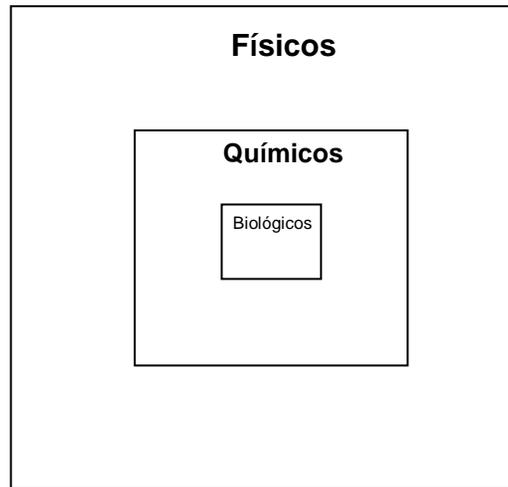


Figura 4.14. Distribución jerárquica de los factores que controlan los humedales.

Los indicadores de estado corresponden a los identificados por Ecotipos en el estudio CONAMA-CEA (2006), los cuales se presentan en el Anexo 3.

4.3.3 Criterios para localización de humedales indicadores a nivel de cuenca

Los criterios propuestos para establecer humedales indicadores son los siguientes:

- Cuerpo de agua de síntesis: lago o laguna que recibe aportes directos y difusos desde la cuenca, a través de ríos tributarios y la zona litoral.
- Cursos de agua: corresponde a río o tramos de río que reciben aportes directos y difusos desde la cuenca

La localización específica en una cuenca dependerá de la distribución espacial de los humedales, definida a partir del catastro y la ubicación de fuentes de contaminación y/o alteración de la dinámica natural de los cuerpos de agua.

4.3.4 Estudio experimental de humedales piloto

4.3.4.1 Detección de humedales pilotos

Para la identificación espacial de los humedales, a partir de las imágenes hiperespectrales captadas con el sensor Aisa, se siguieron los siguientes pasos metodológicos sintetizados en la **Figura 4.15**.

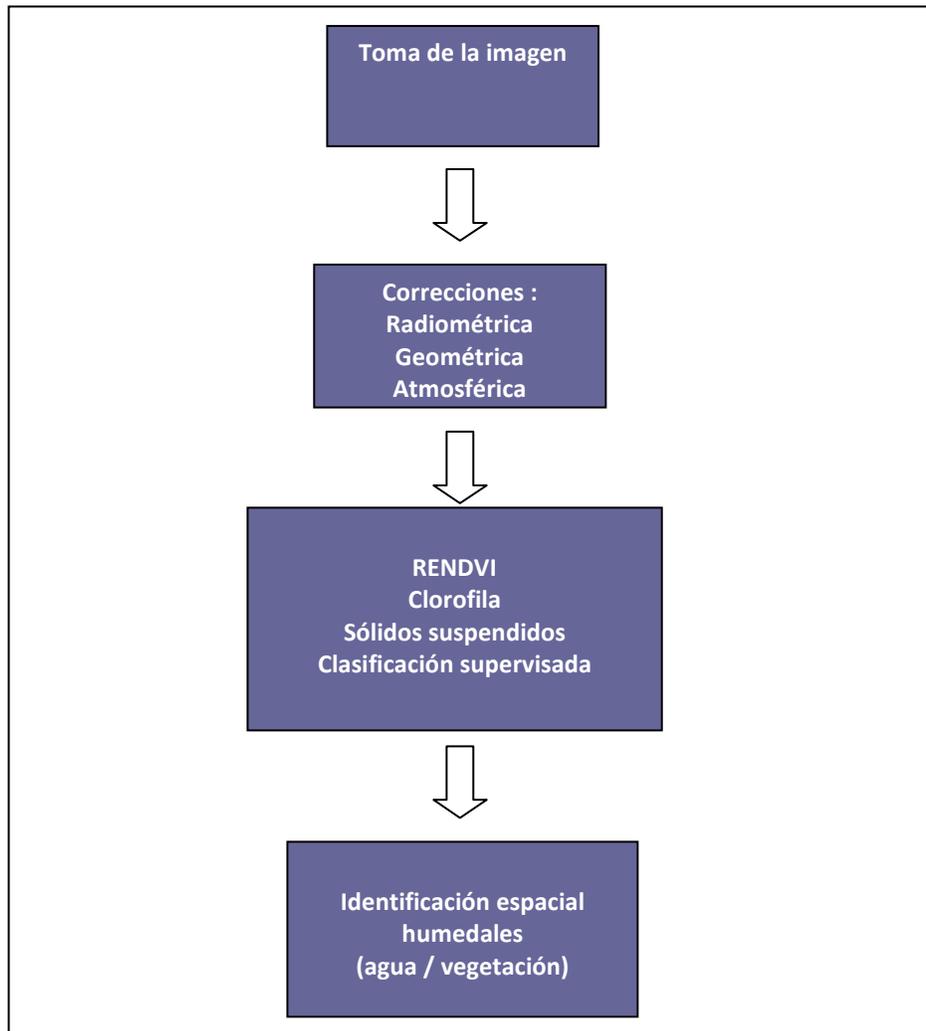


Figura 4.15. Síntesis metodológica para la identificación de humedales piloto.

La toma de las imágenes se realizó el día 11 de noviembre de 2010, durante el vuelo se capturaron los 6 tramos definidos para caracterizar la cuenca. Las imágenes se obtuvieron con una resolución espacial de 1 metro y espectral de 64 bandas. Para ellos se voló a una altura promedio, respecto del terreno, de 1500 metros. En la **Figura 4.16** se aprecian los 6 tramos captados por el sensor hiperespectral en composición color verdadero.

Posteriormente se realizaron las correcciones radiométricas y geométricas, para esta última se utilizó el modelo de elevación de terreno ASTER GDEM de 30 metros de píxel, el cual es distribuido en forma gratuita, a través de Internet (<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>) por los gobiernos de Japón (METI¹⁹) y EEUU (NASA²⁰). Posteriormente se realizó la corrección atmosférica utilizando el modelo "Dark Object".

Una vez realizadas las correcciones se calcularon los índices de vegetación y las concentraciones de clorofila y sólidos suspendidos. Los resultados obtenidos de estos análisis se aprecian en las **Figuras 4.17, 4.18 y 4.19**.

4.3.4.2 Criterios de identificación y delimitación de humedales pilotos

Para la determinación de cuerpos de agua y vegetación se utilizó una clasificación supervisada, generando 20 clases con las cuales fue posible separar el agua de la vegetación. La clase identificada como *clase 1*, fue la que correspondía a los cuerpos de agua, según el índice RENDVI (descrito en el punto **3.3.4.3**), la información de terreno y la fotointerpretación, la que en este caso aporta valiosa y detallada información debido al tamaño del píxel (1 metro). Identificada esta clase se reclasificó la imagen en 2 clases, una correspondiente al cuerpo de agua y otra clase a todo lo que no correspondiera a agua. Mediante este procedimiento fue posible separar el agua y generar un polígono para su representación. Posteriormente, este polígono fue utilizado como máscara para delimitar la distribución espacial de la clorofila y los sólidos suspendidos en cada uno de los tramos.

Mediante la clasificación supervisada, de las imágenes hiperespectrales de los tramos, también se obtuvieron diferentes clases de vegetación, las que fueron contrastadas con el RENDVI para validar que se tratase efectivamente de vegetación. Este índice posee valores entre -1 y 1. Todos aquellos valores superiores a 0 corresponden a vegetación, con diferente grado de actividad fotosintética. Así, los valores positivos cercanos a cero pueden indicar que se trata de vegetación poco vigorosa, en tanto que los valores cercanos a 1, indican vegetación altamente vigorosa y/o activa. Cabe señalar que diferentes tipos de vegetación, así como de coberturas, pueden arrojar valores de índice similares. Por lo anterior para determinar el tipo de vegetación que se trata, se debe contar con información de terreno.

Así mismo, el RENDVI se utilizó para validar la clase agua, esto se hizo superponiendo la imagen del índice a la de la clasificación y constatando que los valores del índice para la clase de agua fueran efectivamente valores negativos, los que indican presencia de agua en este índice.

La expresión espacial de los cuerpos de agua y la vegetación de los distintos tramos se observa en la **Figura 4.21** y las superficies asociadas a estas clases en la **Tabla 4.13**.

¹⁹ The Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan

²⁰ National Aeronautics and Space Administration

Tabla 4.13. Superficies de agua y vegetación de los tramos del río Aconcagua.

Tramo	Agua (ha)	Agua %	Vegetación (ha)	Vegetación %	Superficie total tramo
1	34,7	2,78	522,47	41,92	1246,38
2	23,21	3,46	429,72	64,04	670,97
3	18,36	2,40	397,2	51,86	765,95
4	27,7	3,44	348,42	43,26	805,32
5	39,68	5,10	414,08	53,23	777,92
6	43,43	5,14	410,07	48,51	845,29

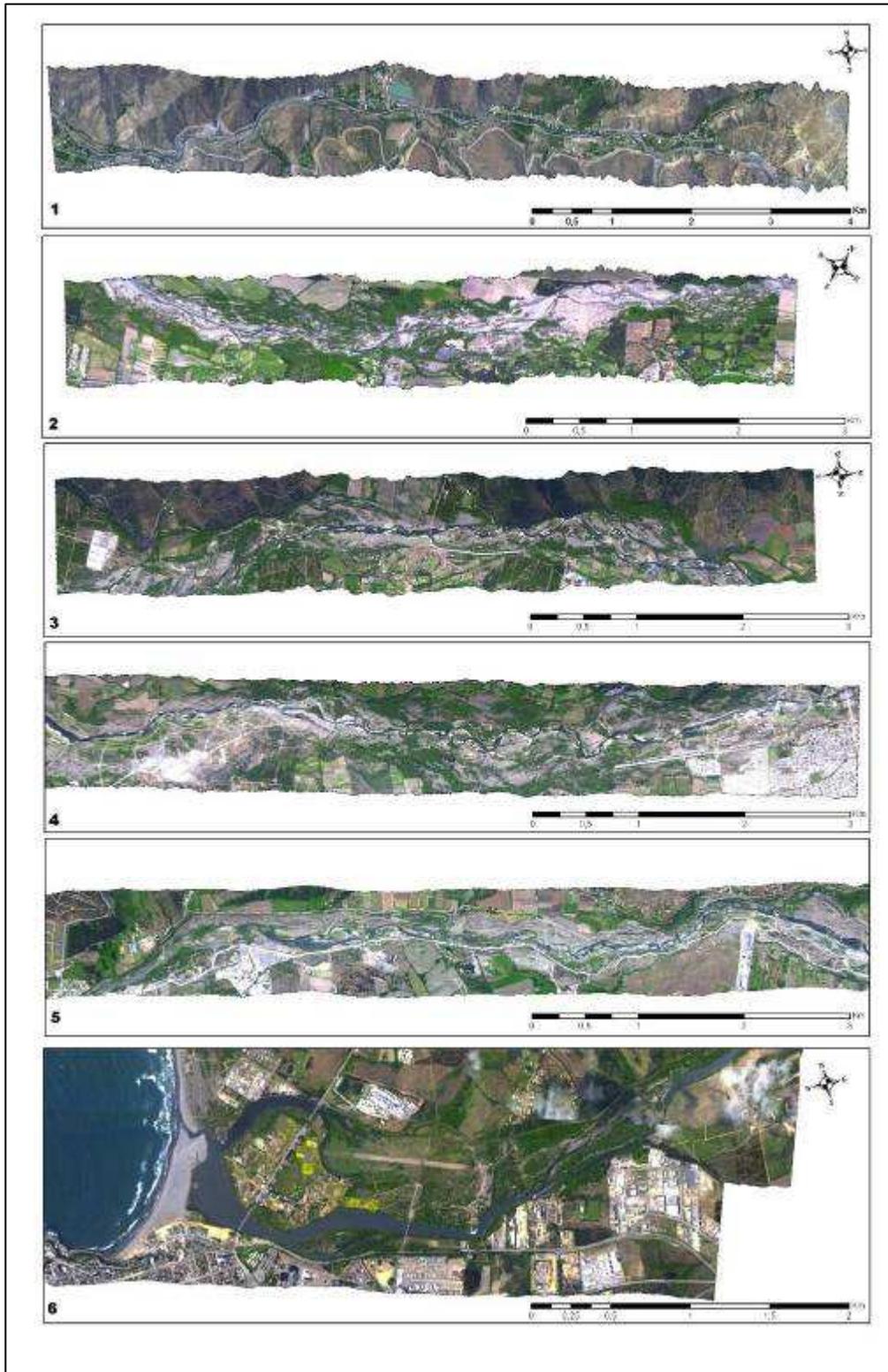


Figura 4.16. Tramos capturados en la cuenca del Aconcagua.

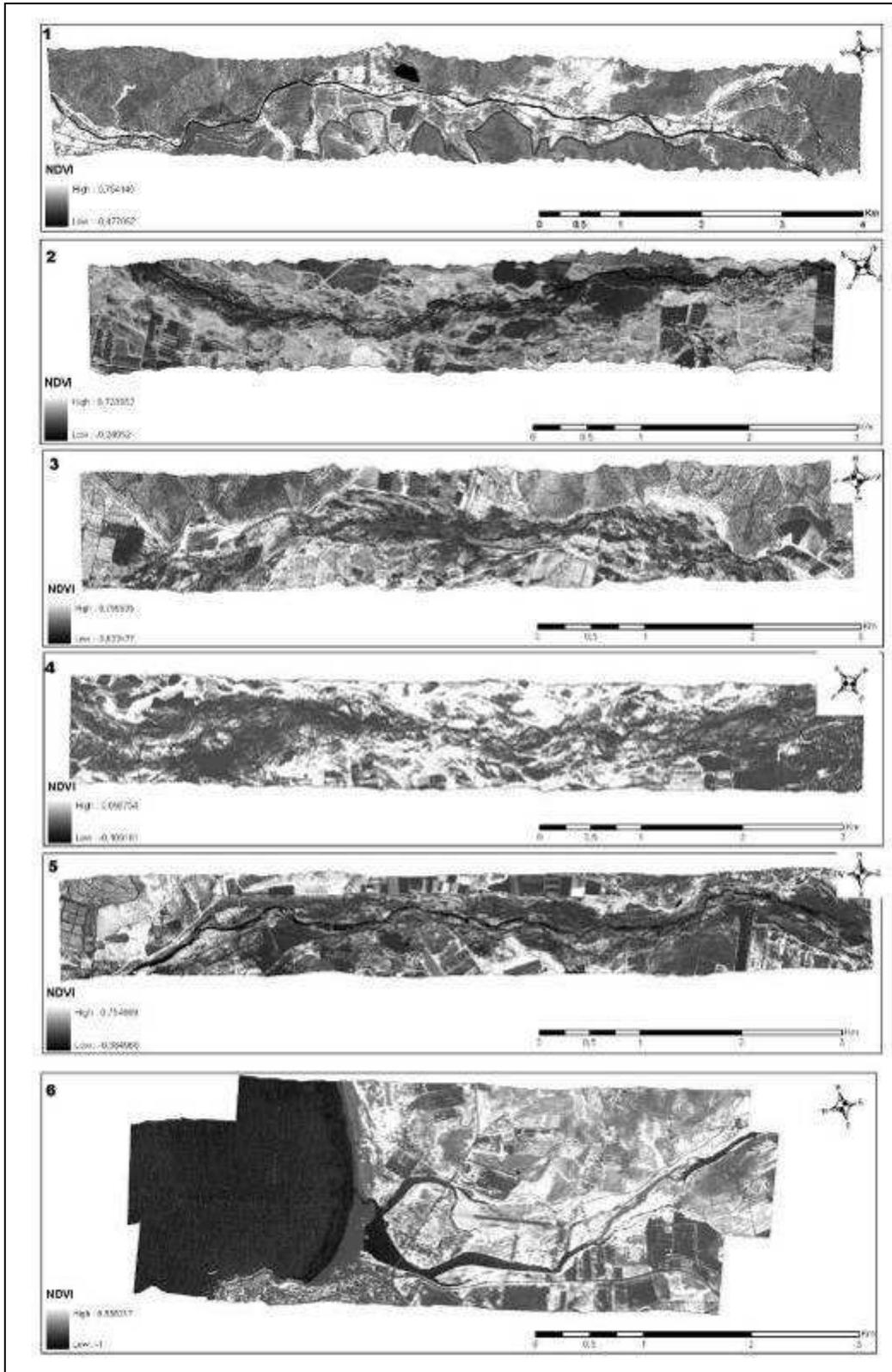


Figura 4.17. RENDVI en los tramos capturados en la cuenca del Aconcagua.

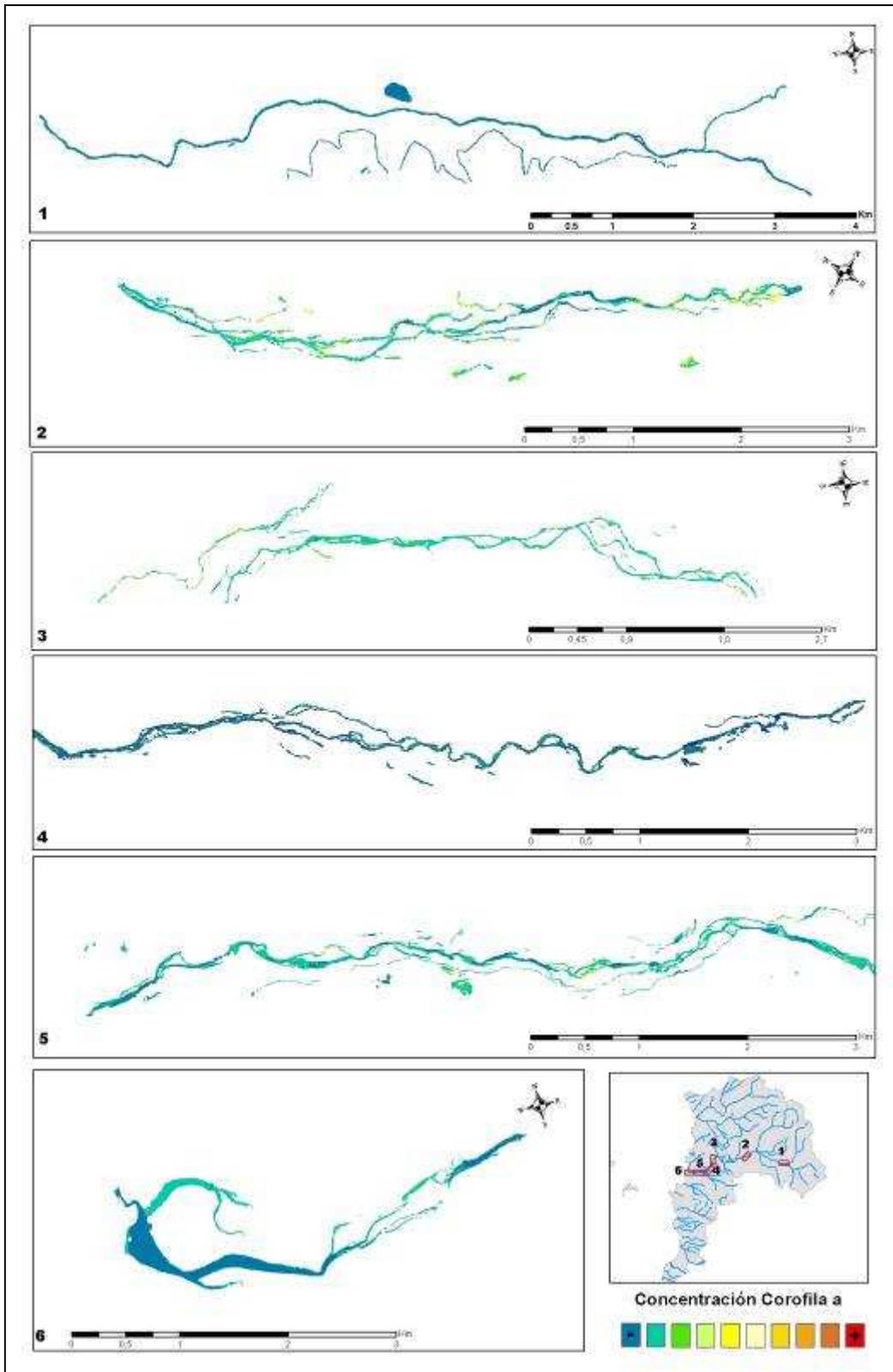


Figura 4.18. Distribución espacial de clorofila en los tramos del río Aconcagua.

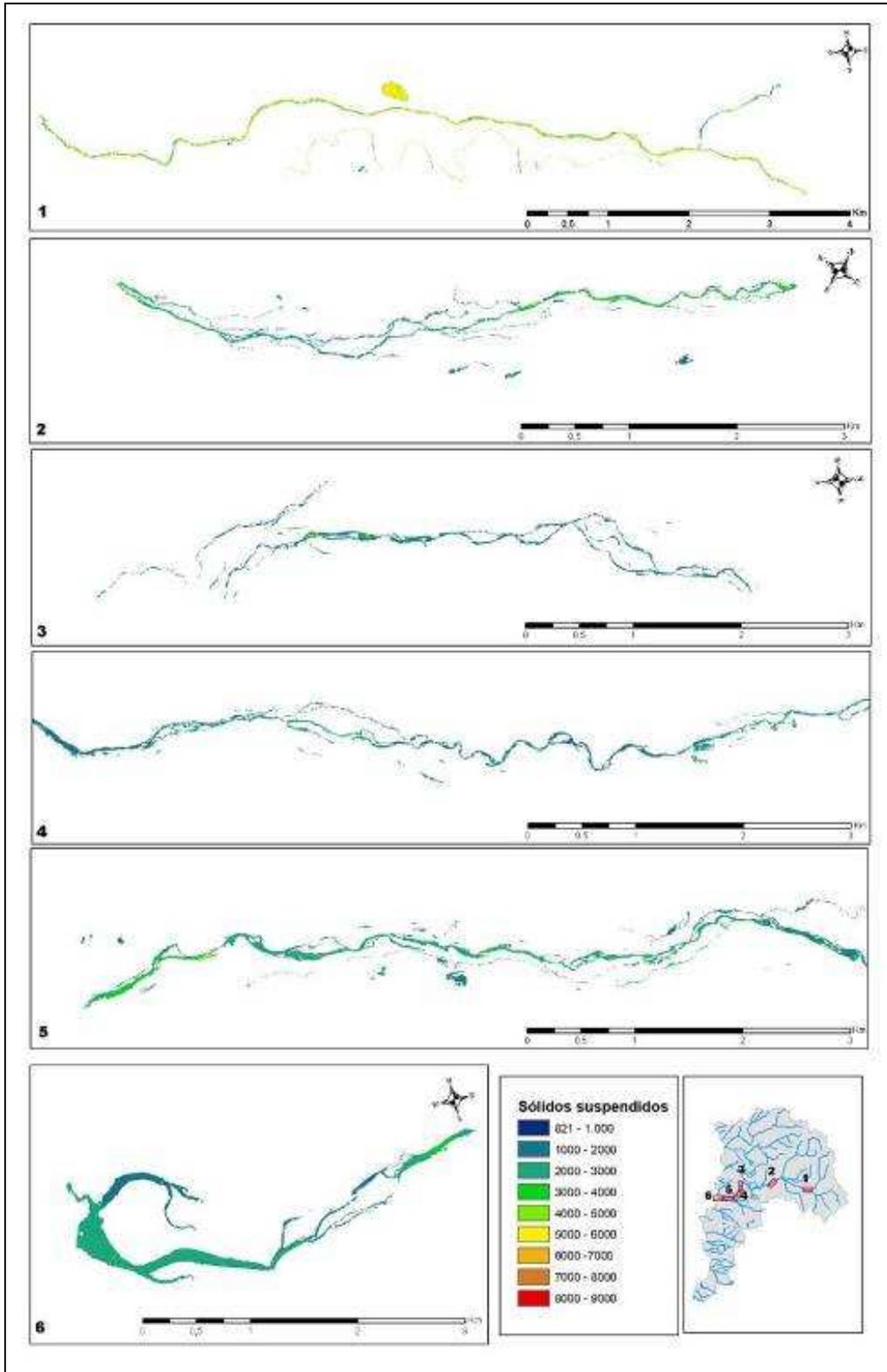


Figura 4.19. Distribución espacial de sólidos suspendidos en los tramos del río Aconcagua.

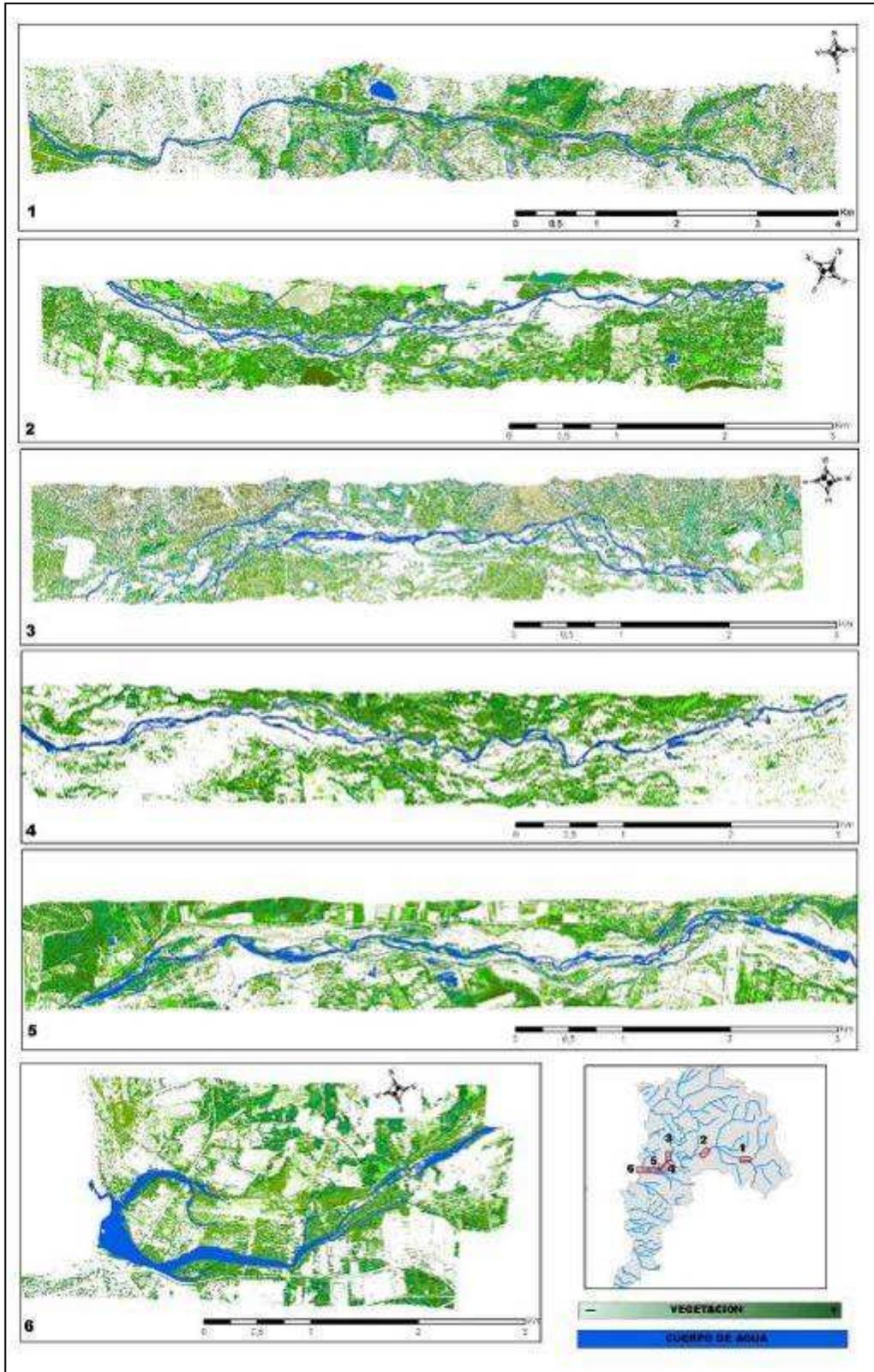


Figura 4.20. Cuerpos de agua y vegetación de tramos del río Aconcagua.

4.3.4.3 Evaluación del estado ambiental de los humedales piloto

Para la evaluación del estado ambiental de los humedales pilotos, correspondiente a los 6 tramos del río Aconcagua, se realizó un monitoreo en 22 estaciones, cuya distribución se aprecia en la **Figura 4.21**.

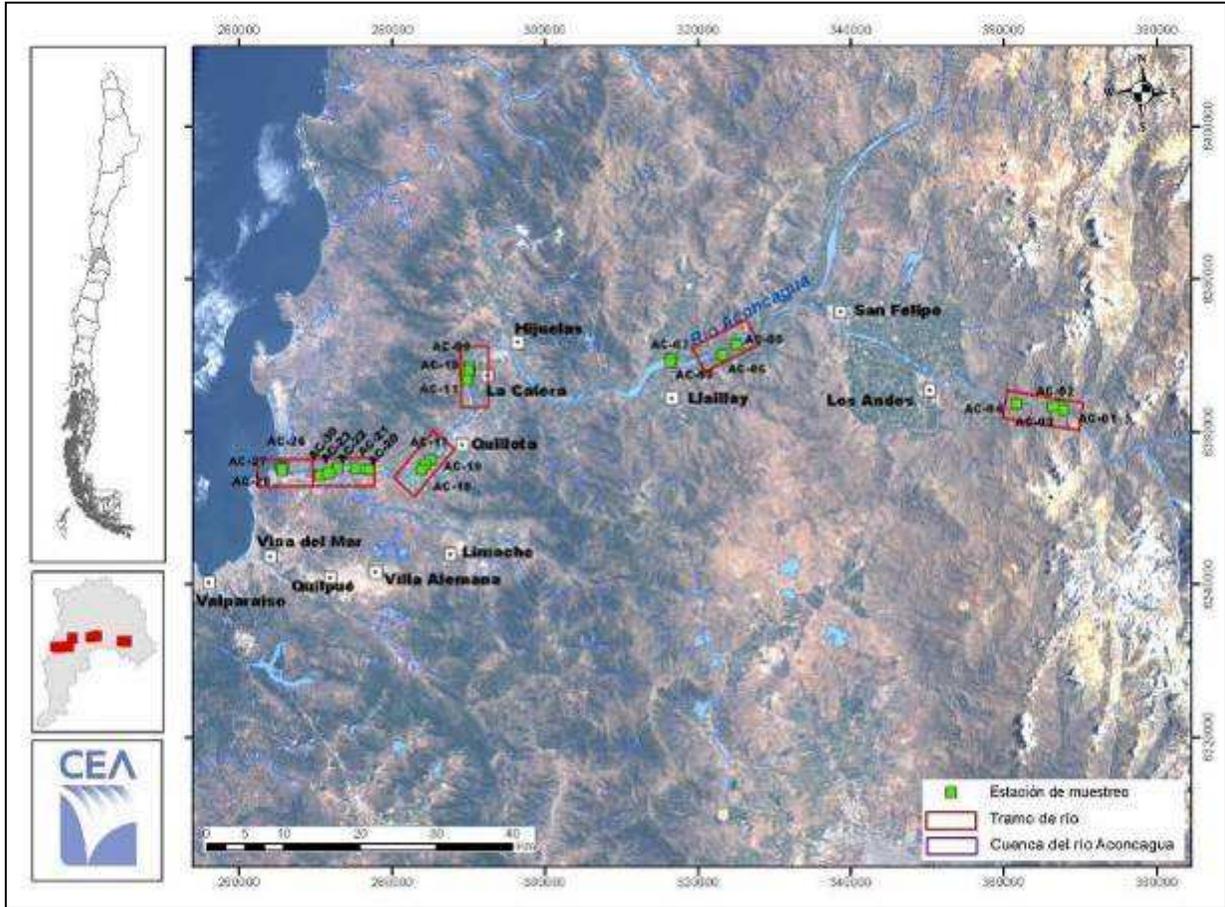


Figura 4.21. Distribución de las estaciones de monitoreo en la cuenca del río Aconcagua.

La campaña de monitoreo fue realizada los días 15,16 y 17 de noviembre de 2010. Los parámetros medidos se indican en la **Tabla 4.14**.

Tabla 4.14. Parámetros de calidad de agua monitoreados en cuenca del río Aconcagua. Noviembre 2010.

Estaciones	Coliformes fecales	Coliformes totales	Fósforo total	Nitrógeno orgánico total	Potencial Redox	Turbidez
	NMP/100ml	NMP/100ml	ug/L	ug/L	mV	NTU
AC-01	90,8	980,4	53,0	272,5	195,0	26,7
AC-02	141,4	307,6	132,0	295,0	187,0	46,6
AC-03	81,6	1203,3	110,0	275,0	220,0	45,5
AC-04	11,0	51,2	127,0	347,5	224,0	46,7
AC-05	1986,3	>2420	98,0	351,3	-118,0	10,3
AC-06	224,7	>2420	10,0	221,3	41,0	1,0
AC-07	1732,9	>2420	55,0	226,3	55,0	7,2
AC-08	72,8	>2420	82,0	188,8	49,0	21,6
AC-09	2419,6	>2420	74,0	787,5	-322,0	2,8
AC-10	913,9	>2420	49,5	548,1	-361,0	1,9
AC-11	1986,3	>2420	72,0	521,3	-187,0	3,0
AC-17	35,9	2419,6	2130,0	725,0	92,0	2,9
AC-18	48,0	>2420	2015,0	750,0	84,0	7,2
AC-19	40,2	>2420	1900,0	662,5	80,0	5,0
AC-20	416,0	2419,6	182,0	253,8	149,0	7,8
AC-21	45,7	>2420	276,0	591,3	152,0	37,6
AC-22	34,1	>2420	297,0	435,0	-193,0	50,9
AC-23	29,8	1011,2	36,0	410,0	-345,0	3,3
AC-26	156,2	>2420	260,0	613,8	-294,0	9,0
AC-27	365,4	>2420	262,0	530,0	-108,0	8,7
AC-28	71,7	>2420	333,0	737,5	121,0	23,5
AC-30	30,1	>2420	228,0	370,0	-384,0	10,6
Promedio	497,0	2031,5	399,2	459,7	-30,1	17,3
Mín.	11,0	51,2	10,0	188,8	-384,0	1,0
Máx.	2419,6	2420,0	2130,0	787,5	224,0	50,9

Todos los parámetros medidos presentaron valores cuantificables. Los valores de Coliformes totales en algunas estaciones presentaron valores sobre el límite de detección.

-Coliformes Fecales (NMP/100 ml): las concentraciones de Coliformes fecales presentaron un mínimo de 11 NMP/100ml, en la estación AC-04, mientras que el máximo fue de 2419.6 NMP/100ml, en la estación AC-09, calculando un valor promedio para el área de 497,0 NMP/100ml. Para este parámetro la NCh N° 1333, establece como límite máximo 1.000 NMP/100ml, el cual se ve superado en las estaciones AC-05, AC-07, AC-09 y AC-11; el anteproyecto de NSCA de la cuenca del río Aconcagua, para el área de vigilancia AC-30 entrega un valor de 256 NMP/100ml el que se encuentra sobrepasando en las estaciones AC-05 y AC-07, así mismo para el área de vigilancia AC-10 (15 NMP/100ml) las estaciones correspondientes a AC-02 y AC-03 también sobrepasan los valores del anteproyecto (141,4 y 81,6 NMP/100ml, respectivamente). **Figura 4.22 y 4.23.**

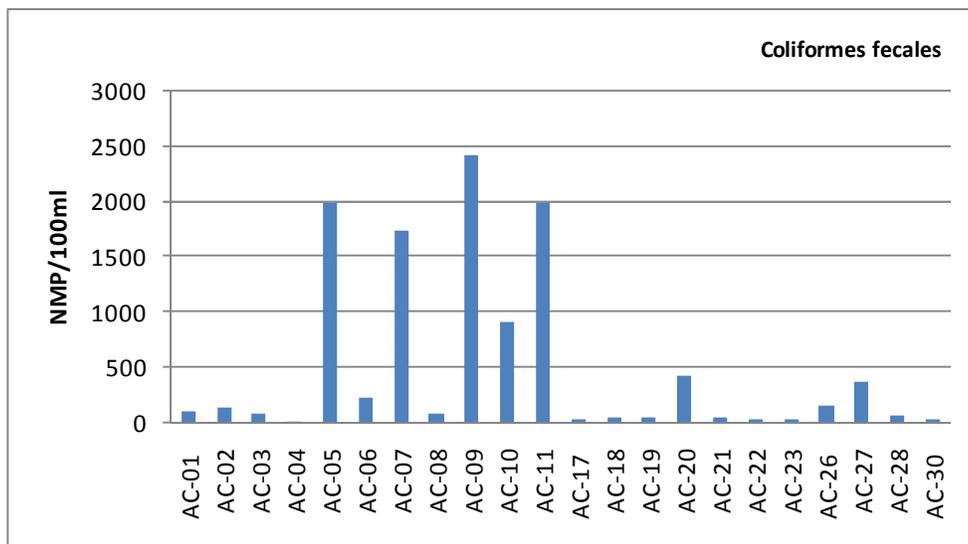


Figura 4.22. Gráfico Coliformes fecales (NMP/100ml).

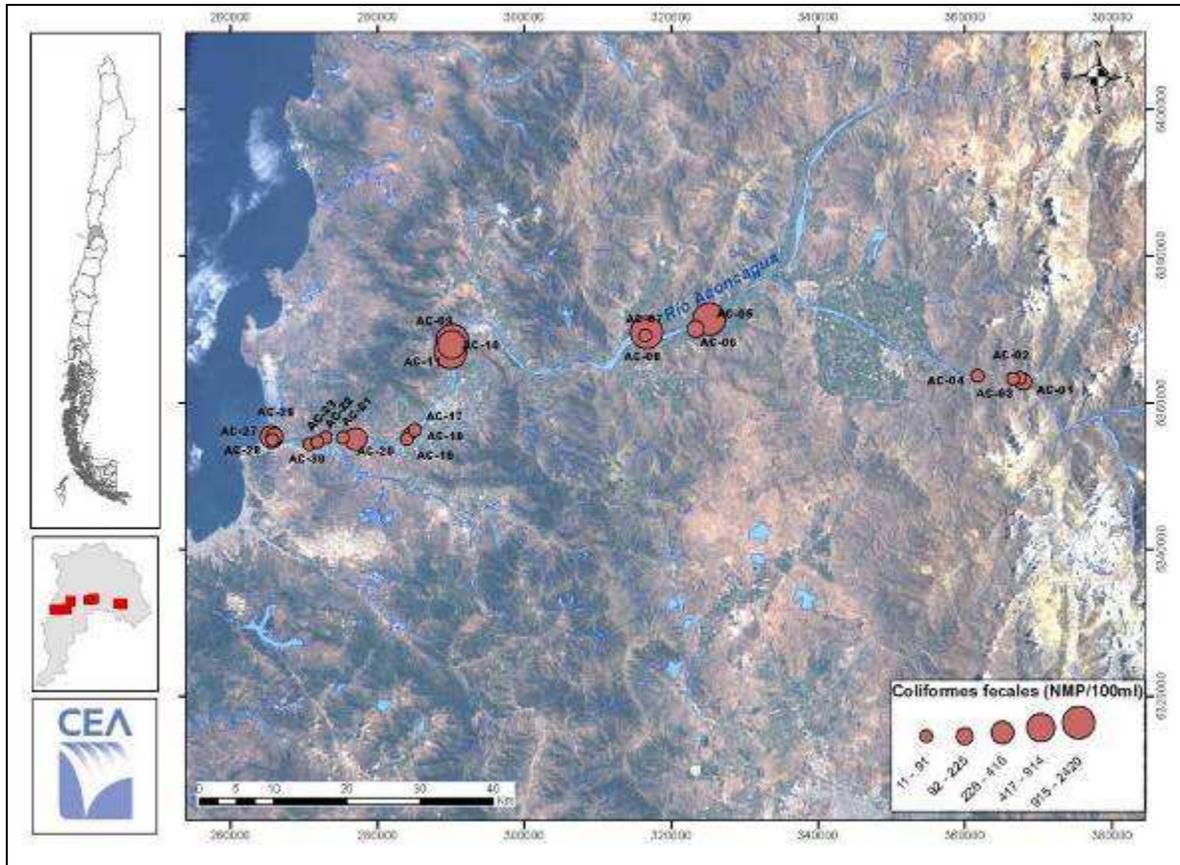


Figura 4.23. Mapa de Coliformes fecales (NMP/100ml).

-Coliformes Totales (NMP/100 ml): se presentaron valores heterogéneos en el área de estudio, los cuales fluctuaron entre los 51,2 NMP/100ml en la estación AC-04 y un valor máximo de >2420 NMP/100ml, registrado en la mayor parte de las estaciones del río Aconcagua. Para este parámetro la NCh N°1333 no establece referencia, mientras que el anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua, para el tramo AC-10 (200 NMP/ml) sobrepasan las estaciones AC-02 y AC-03 con 307,6 NMP/ml y 1203,3 NMP/ml respectivamente, lo mismo ocurre con el tramo AC-30 en la que aparecen todas las estaciones sobrepasando el valor del anteproyecto (1271 NMP/100ml). **Figuras 4.24 y 4.25.**

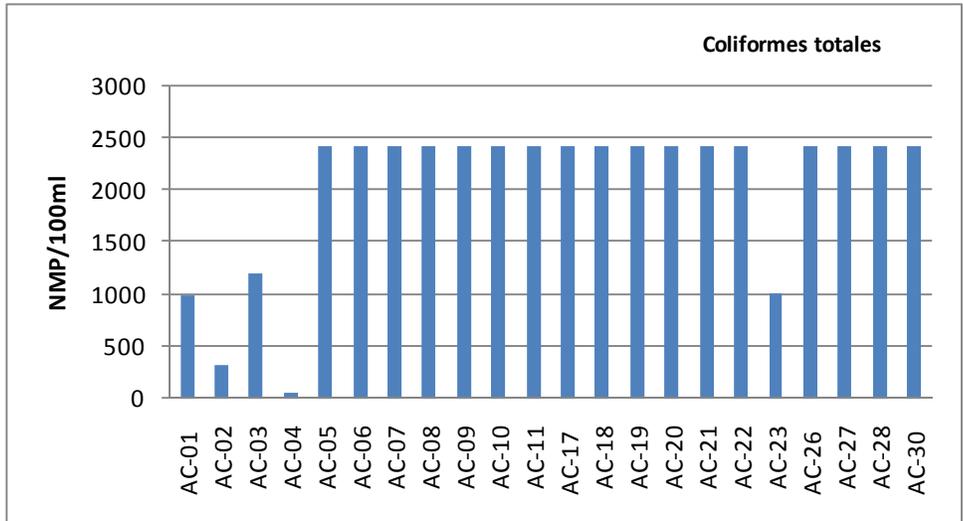


Figura 4.24. Gráfico Coliformes totales (NMP/100ml)

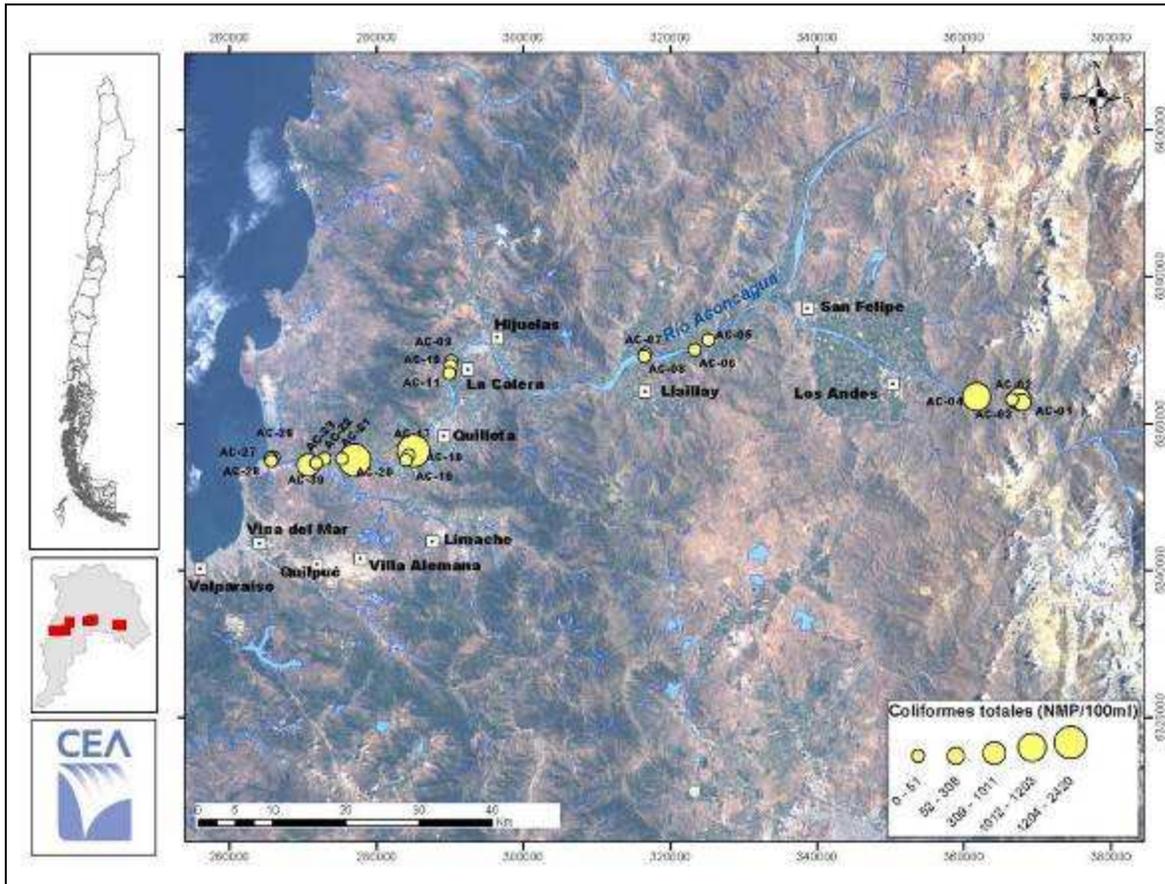


Figura 4.25. Mapa de Coliformes totales (NMP/100ml).

-Fósforo Total ($\mu\text{g/l}$): los valores registrados en esta campaña se presentaron heterogéneos, fluctuaron entre los 10,0 $\mu\text{g/l}$ en la estación AC-06, y 2130,0 $\mu\text{g/l}$ en la estación AC-17, presentando así una concentración promedio de 399,2 $\mu\text{g/l}$. Las estaciones AC-17, AC-18 y AC-19 fueron las que obtuvieron los mayores valores para este parámetro, estas estaciones se encuentran en un sector agrícola. Tanto la NCh N°1333 como el anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua no establecen límite de referencia. **Figuras 4.26 y 4.27.**

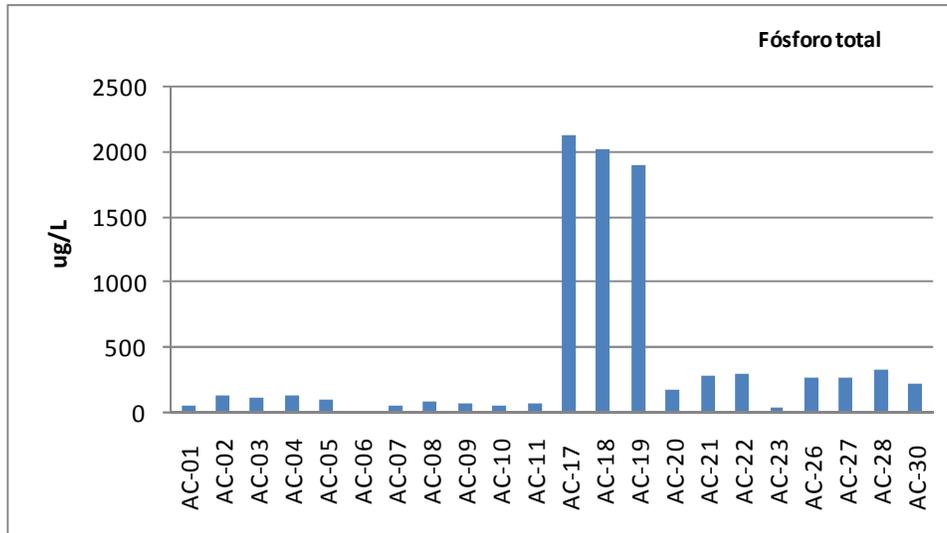


Figura 4.26. Gráfico Fósforo total ($\mu\text{g/L}$).

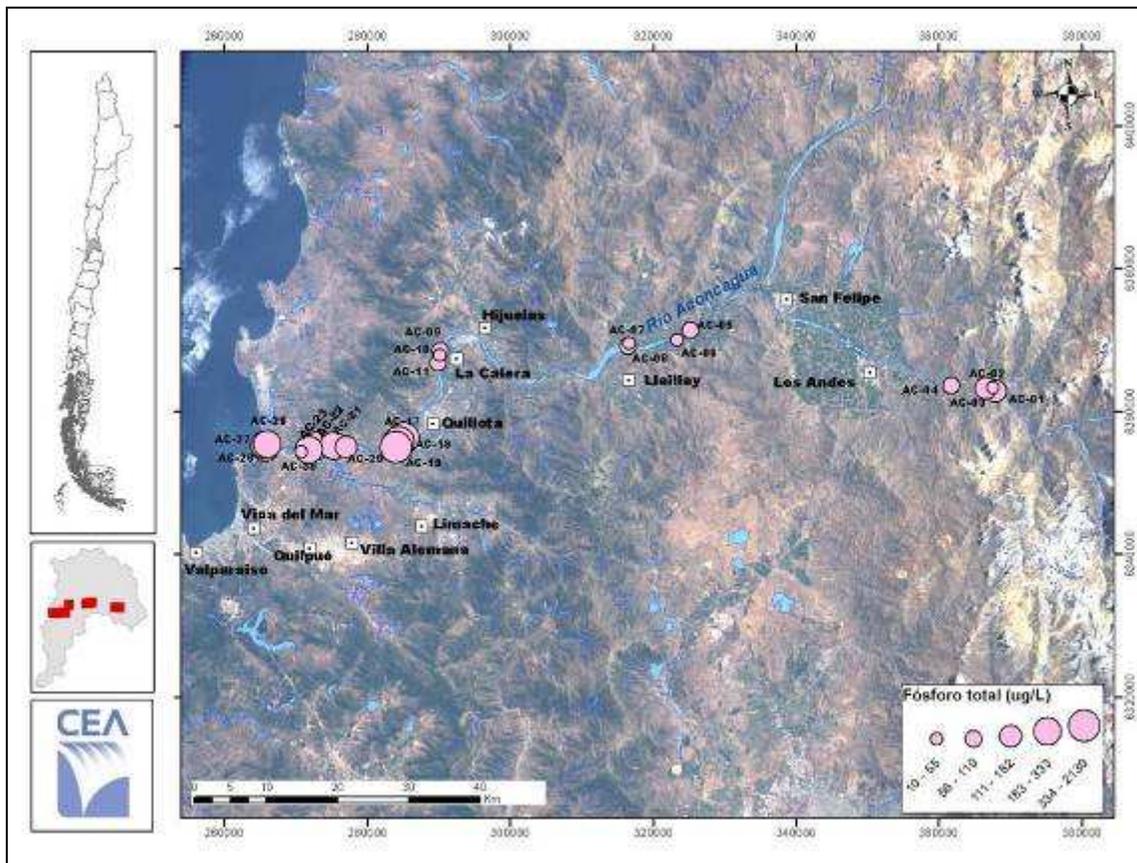


Figura 4.27. Mapa de Fósforo total (ug/L)

-Nitrógeno Orgánico Total (µg/l): según los valores registrados en el área de estudio, el valor mínimo se presentó en la estación AC-08, con un valor igual a 188,8 µg/l y el valor máximo se presentó en la estación AC-09, con un valor igual a 787,5 µg/l. Calculándose de esta manera un valor promedio igual a 459,7 µg/l. Tanto la NCh N°1333 como el anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua el no hace referencia a este parámetro. **Figuras 4.28 y 4.29.**

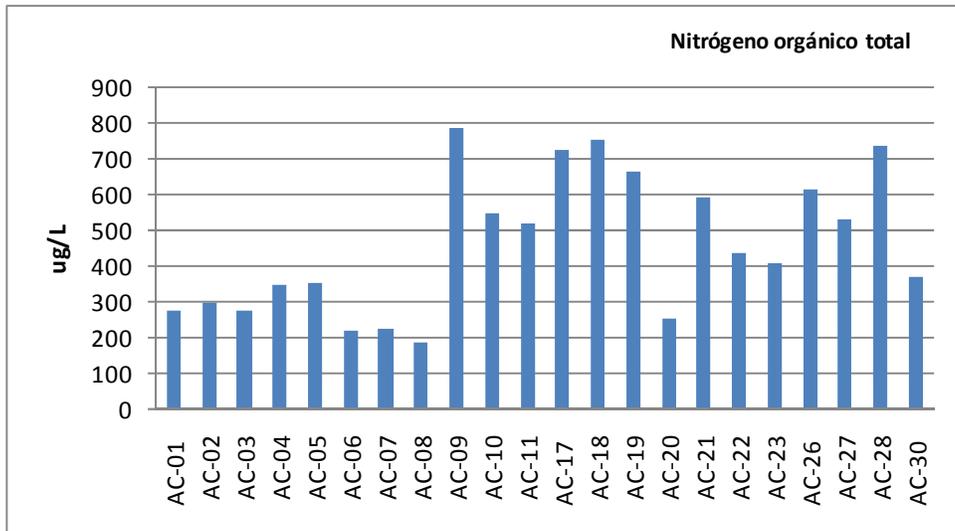


Figura 4.28. Gráfico Nitrógeno Orgánico total (ug/L)

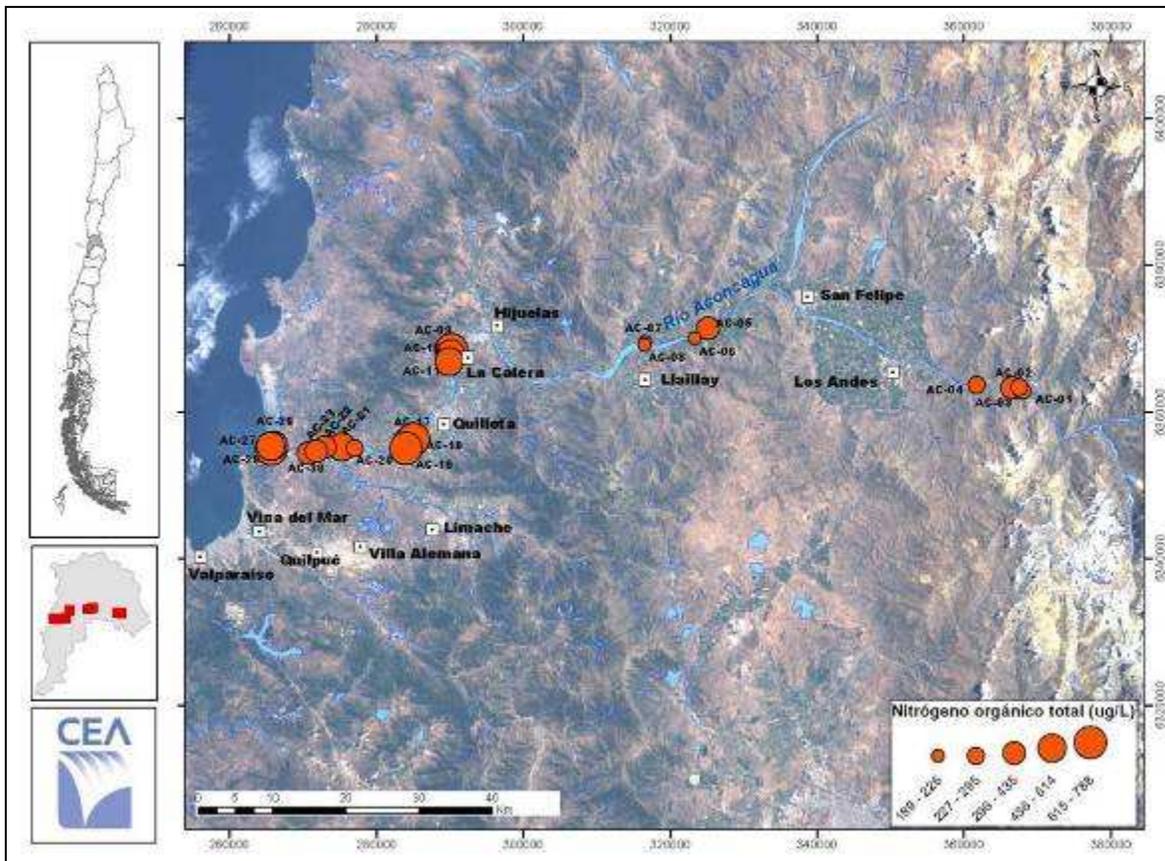


Figura 4.29. Mapa de Nitrógeno Orgánico total (ug/L).

Potencial Rédox (mV): se presentaron valores heterogéneos en la zona de estudio. La estación que presentó el mínimo -384,0 mV fue AC-30, mientras que el mayor valor se registró en la estación AC-04 con 224,0 mV, la que se encuentra aguas abajo la confluencia del río Colorado con el río Aconcagua. Tanto la NCh 1333, como la NSCA de la cuenca del río Aconcagua no establecen valoración regulatoria. **Figuras 4.30 y 4.31**

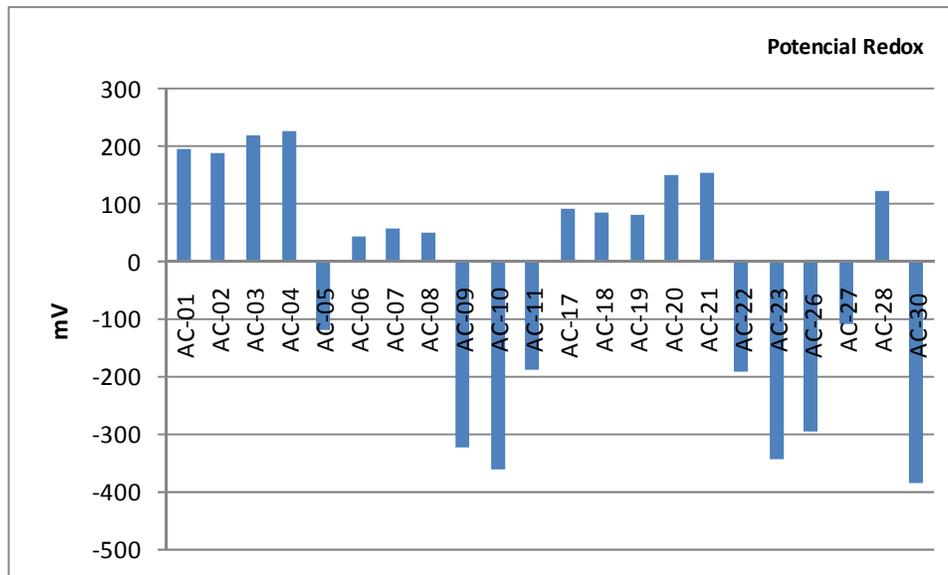


Figura 4.30. Gráfico Potencial Redox (mV).

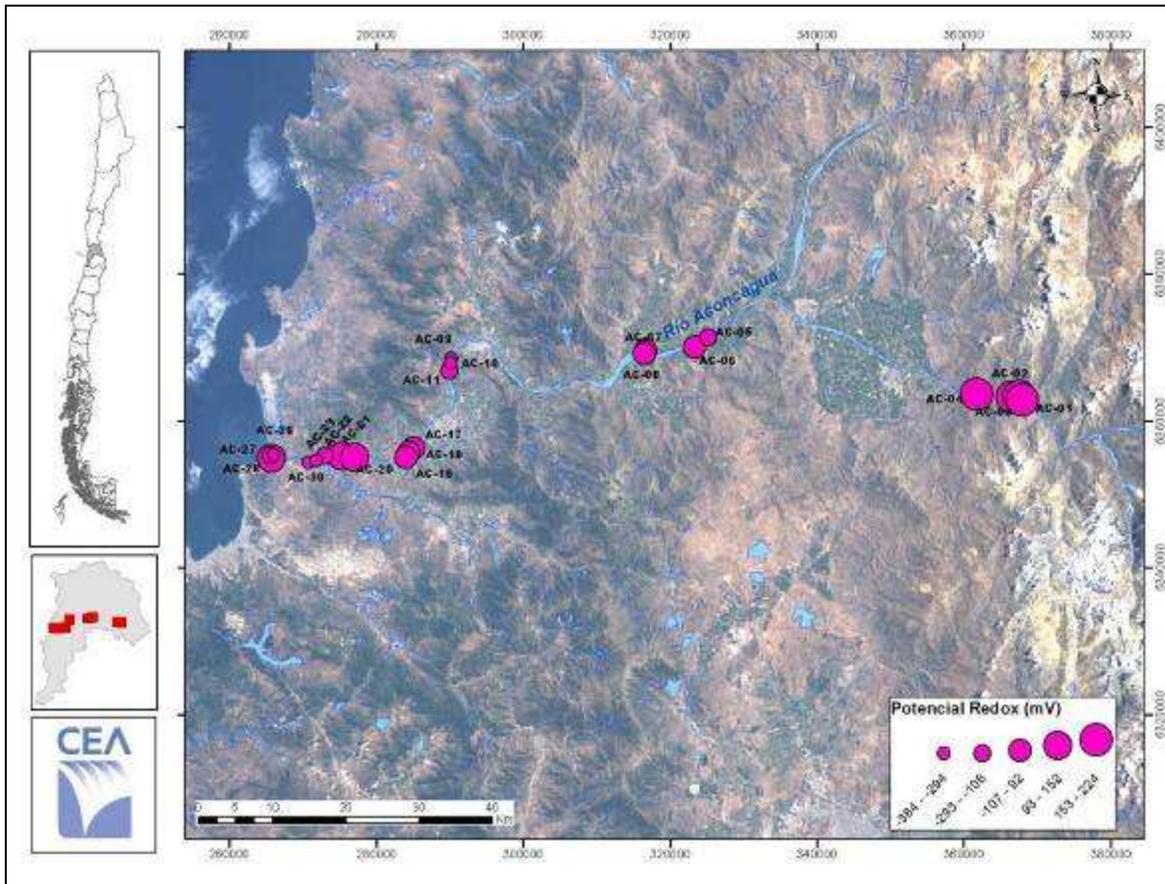


Figura 4.31. Mapa de Potencial Rédox (mV).

-Turbidez (NTU): la Turbidez presentó valores heterogéneos en la cuenca del río Aconcagua, los rangos fluctuaron desde 1,0 NTU en la estación AC-06 y 50,9 NTU en la estación AC-22 presentando un promedio de 17,3 NTU. Los valores más altos se produjeron en las estaciones AC-02, AC-03, AC-04, AC-21 y AC-22. Para este parámetro, la NCh N°1333 para uso en riego y vida acuática y la NSCA para la cuenca del río Aconcagua no establecen valoración regulatoria. **Figuras 4.32 y 4.33.**

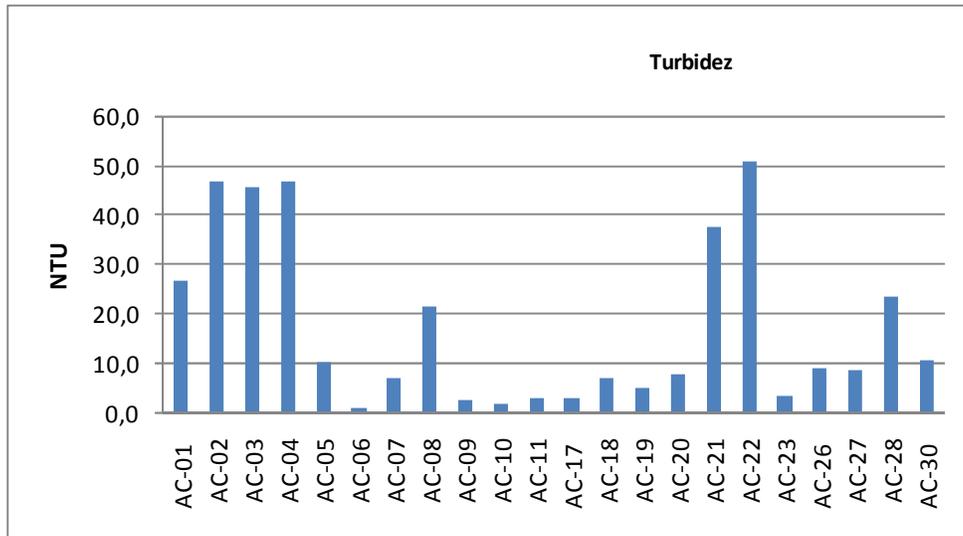


Figura 4.32. Gráfico Turbidez (NTU).

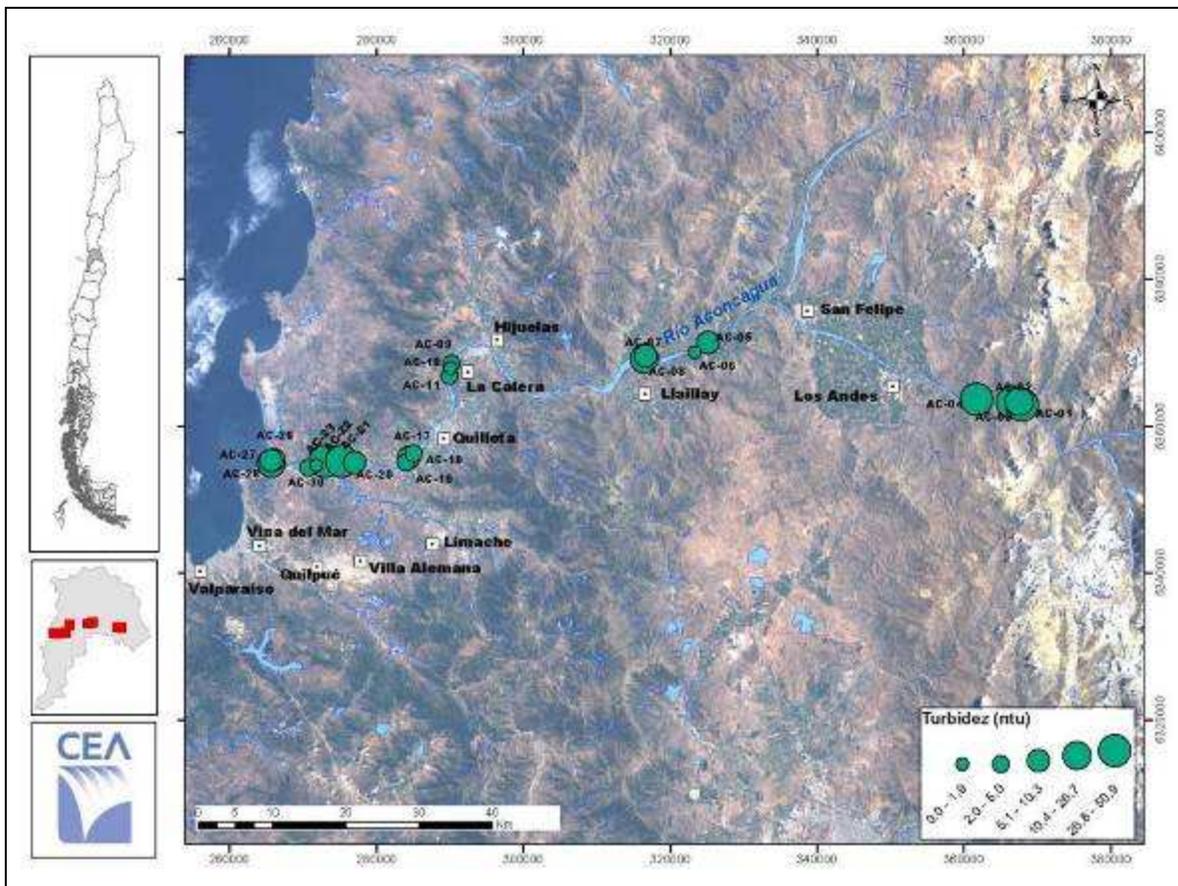


Figura 4.33. Mapa de Turbidez (NTU).

El detalle del análisis de calidad de agua se presenta en Anexo 5.

En relación a la composición de la vegetación asociada a los cursos de agua, durante la campaña realizada durante noviembre 2010, se encontró un total de 80 especies de plantas asociadas al curso de agua del río Aconcagua (**Figura 4.3.4**). Las formaciones observadas se presentaron de forma heterogénea a lo largo de las estaciones de muestreo, presentando coberturas y dominancias diferentes entre uno y otro lugar. En las estaciones se encontraron especies de origen nativo, así como también introducidas, lo cual sugiere una alta heterogeneidad y competencia entre las especies por colonizar estos lugares. Cabe señalar que en las estaciones estudiadas no se encontró la presencia de especies clasificadas en estado de conservación según Benoit (1989).

El listado de especies por estación se encuentra detallado en el Anexo 6.

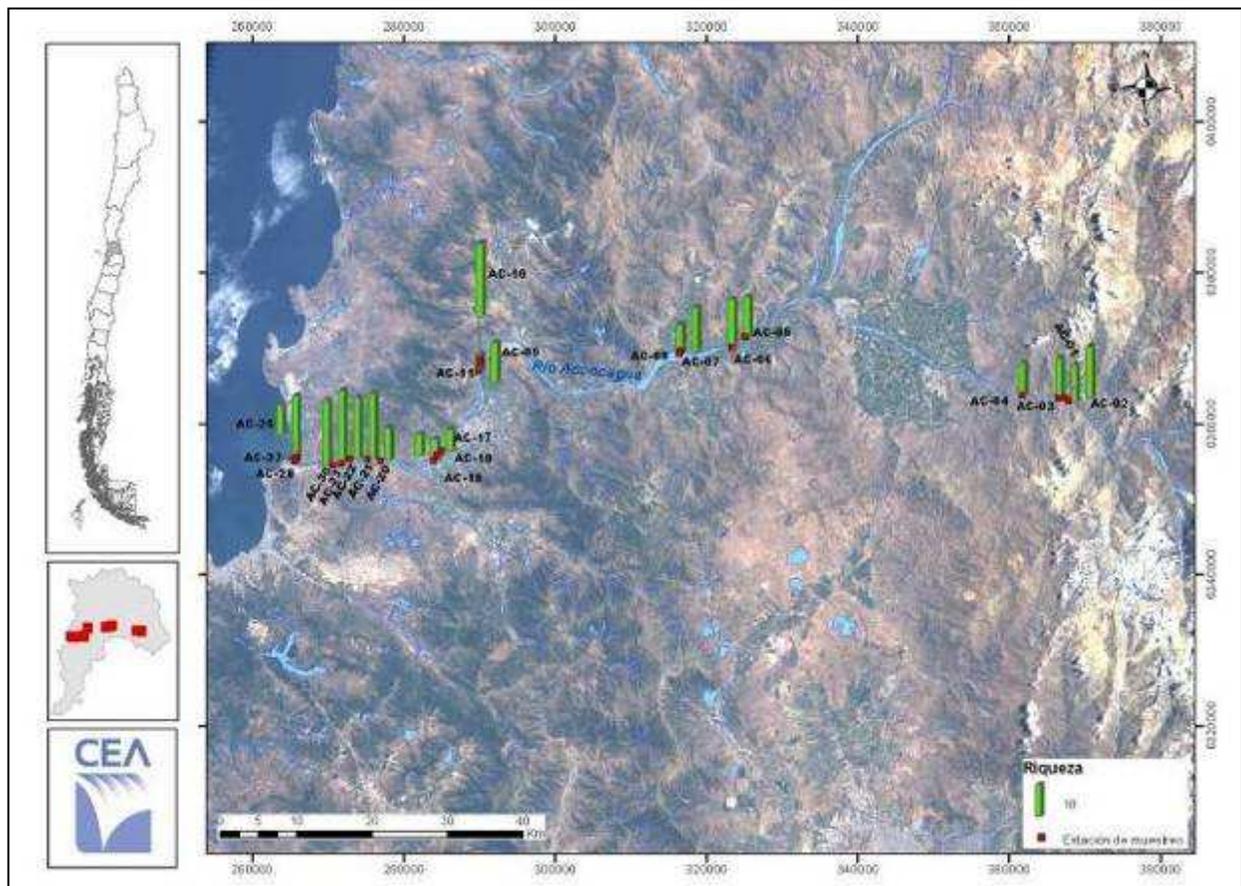


Figura 4.3.4. Riqueza de especies por estación. Río Aconcagua.

5. CONCLUSIONES

5.1. Catastro De Humedales

El país cuenta hoy con un Catastro Nacional de Humedales, base de datos espacializada generada bajo un mismo criterio a una escala única para todo el país. Lo anterior se ha logrado con el desarrollo de la primera fase del Inventario Nacional de Humedales.

En el desarrollo de esta primera etapa, se concluye el potente rol que ha cumplido la tecnología de punta –particularmente en este caso los sensores remotos y sistemas de información geográfica- en la generación de herramientas de apoyo al crecimiento y desarrollo nacional.

Utilizando imágenes Landsat y los programas ENVI 4.7, de análisis de imágenes, y Arcview 9.2) , se ha logrado en un plazo menor a un año, concluir el Catastro, incluidos lagos, lagunas, ríos, embalses y vegetación hidrófila mayor a 0.4 ha de superficie. Además, el desarrollo de este proyecto, ha permitido generar una metodología de extracción de datos-que incluye también imágenes hiperespectrales Aisa-Eagle y mediciones en terreno- que permitirá, técnicamente, a un corto y mediano plazo, comenzar a cubrir tareas de evaluación, manejo y control en el uso de los humedales en el marco de un sistema de alerta temprana, sustentado en el establecimiento de humedales indicadores del estado de la cuenca, cobertura de agua y vegetación y el monitoreo de sus variables de estado por Ecotipo.

Por otra parte, las propiedades de dicha tecnología permitieron elaborar un producto cartográfico que entrega la localización geográfica exacta del humedal y con ello es factible el vínculo con el cuerpo de información territorial que hoy existe en la diversidad de agencias públicas del Estado, así como eventuales acciones de orden territorial específicas que puedan surgir a nivel de las distintas escalas de gobierno. De este modo podrá también facilitar la elaboración de políticas nacionales y regionales en la priorización de acciones de protección y conservación y guiar la toma de decisiones en torno a compromisos ambientales en humedales y también aquellos asociados a la biodiversidad, recursos genéticos, cambio climático, entre otros.

Más allá de los análisis realizados, se nos plantea una reflexión con datos país, de los criterios de valoración y priorización que hoy son manejados en el sector. Sólo el 0.5% de los humedales del país se encuentran bajo áreas de protección y equivalen a 2.7% de las áreas protegidas.

5.2. Condición ambiental de los humedales

La condición ambiental de los humedales es evaluada a partir de la vecindad con las amenazas, el catastro de amenazas permitió establecer que existe una presión permanente y creciente sobre los cuerpos y cursos de agua.

5.3 Rol ambiental de los humedales como indicador a nivel de cuenca

Los humedales son un reflejo de lo que ocurre en su cuenca de avenamiento, cualquier cambio en el uso del suelo altera inicialmente propiedades funcionales del ecosistema

(ej. producción primaria) y posteriormente en propiedades estructurales (ej. composición de especies).

En términos generales, la producción primaria de plantas acuáticas (sistemas reófilos), fitoplancton (clorofila a en lagos) y vegetación ripariana, corresponden a los mejores indicadores de cambio en la carga de nutrientes y contaminantes presentes en el agua. Estas variables de estado constituyen los principales indicadores a utilizar para realizar una evaluación permanente de la salud de las cuencas hidrográficas.

La localización específica en una cuenca dependerá de la distribución espacial de los humedales, definida a partir del catastro y la ubicación de fuentes de contaminación y/o alteración de la dinámica natural de los cuerpos de agua.

6 RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos durante la elaboración del catastro, se sugieren las siguientes actividades:

- Realizar la evaluación de la condición ambiental de lagos costeros.
- Realizar la evaluación de humedales precordilleranos asociados a cursos de agua en las regiones VI y VII.
- Evaluar el estado actual de la calidad de agua de los humedales a nivel del país.

7 BIBLIOGRAFÍA

Abramovitz, J. N. 1996. Sustaining freshwater ecosystems. En *State of the World 1996* (eds. Brown, L.R. et al.), pp. 60-77, W.W. Norton & Company, Nueva York

APHA-AWWA-WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 2005.

Ariza López, F.J.; Pinilla Ruiz, C.; López Luque, R.; Borque Arancón, M^a J. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén. Control de calidad del proceso de clasificación de imágenes de satélite. Noviembre 1996. http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=834 [consultado: 11 de agosto de 2008].

Ausseil, A.; Dymond, J.; Shepherd, J. Rapid Mapping and Prioritisation of Wetland Sites in the Manawatu-Wanganui Region, New Zealand. Environmental Management, Volume 39, Number 3, pp. 316-325(10). March 2007.

Australian Government Department of Environment and Heritage and Land & Water Australia. Australia's Tropical Rivers —Data Audit. Canberra, 2004.

Baker, C., Lawrence, R., Montagne, C., Patten, D. Mapping wetlands and riparian areas using Landsat ETM+ Imagery and decision-tree-based models. The Society of Wetland Scientists WETLANDS, Vol. 26, No. 2, pp. 465–474. June 2006.

Bautista, L. Identificación de humedales en Puerto Rico utilizando imágenes multispectrales. Geological and Environmental Remote Sensing Laboratory. Department of Geology. Universidad de Puerto Rico. 2005. <http://gers.uprm.edu/geol6225/research.html> [consulta: 8 de agosto de 2008].

Boggon, T & Evans, I. EYRE PENINSULA NATURAL RESOURCES MANAGEMENT BOARD. A Coordinated Approach to Wetland Management on Eyre Peninsula. South Australia, 2006.

Bustamante, J., Díaz-Delgado, R., Aragonés, D. Determinación de las características de masas de aguas someras en las marismas de Doñana mediante teledetección. Revista de Teledetección. Vol. 24: pp 107-111. 2005.

Canevari P, I Davidson, D Blanco, G Castro & Eh Bucher (eds). Los Humedales de América del Sur. Una Agenda para la Conservación de la Biodiversidad y las Políticas de Desarrollo. Wetlands International. Resumen Ejecutivo + CD-rom. 2001

CONAMA. 2005. Estrategia nacional para la conservación y uso racional de los humedales en Chile. http://www.sinia.cl/1292/articles-35208_recurso_1.pdf [consultado: 10 de mayo de 2008].

CONAMA. Metodologías Para la Caracterización de la Calidad ambiental. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 242 pp.1996.

CONAMA-CEA, 2007. Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica.

CONAMA-CEA, 2006. Protección y manejo sustentable de Humedales integrados a la cuenca hidrográfica disponible <http://www.sinia.cl/1292/article-41115.html>.

Colón-Ortiz, L. Teledetección de las regiones de humedales de la zona oeste de Puerto Rico, ¿Cuán saludables se encuentran? 2004. http://gers.uprm.edu/geol6225/pdfs/l_colon.pdf [consulta: 16 de julio de 2008].

Conrick, D. Matter For Target Inland Aquatic Ecosystem Integrity – Wetlands Development of National Indicators for Wetland Ecosystem Extent, Distribution and Condition. NATIONAL LAND & WATER RESOURCES AUDIT, Canberra 2007.

Chenoweth, A. Landscapes under pressure in South East Queensland – assessing significant areas for retention and management. Brisbane, Post 2004.

Chuvieco, E. Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. p. 327. Barcelona 2002.

Elvidge, C. D., T. Miura, W. T., Jansen, D., P. Groeneveld y J. Ray . Monitoring trends in wetlands vegetation using a Landsat MSS time series. Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications, Ann Arbor Press. 1998.

Environmental Protection Agency. Wetland Mapping and Classification Methodology – Overall Framework – A Method to Provide Baseline Mapping and Classification for Wetlands in Queensland, Version 1.2, Queensland Government, Brisbane. ISBN 0 9757 344 6 6. 2005.

Gao, B.C. 1995. Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. Proceedings of SPIE 2480: 225-236

Grupo de Contacto sobre Humedales Altoandinos & UICN Sur, 2004.

Harlow, G. Eelgrass Mapping Review. Canadian wildlife service environment Canada. Vancouver, 2002.

Hewitt, M. J.. Synoptic inventory of riparian ecoystems: The utility of Landsat Thematic Mapper data. Forest Ecology and Management 33/34:605–620. 1990.

Hofstede, R. 2003. Los páramos en el mundo: su diversidad y sus habitantes. En: Hofstede, R., Mena, P., Segarra, P. (Eds.). Los páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia. Quito.

IUCN. Managing Marine Protected Areas: A Toolkit for the Western Indian Ocean. Nairobi. 2004.

Jackson, T., Chen, D., Cosh, M., Li, F., Anderson, M., Walthall, C., Paul Doriaswamy, P., Hunt, R. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. Remote Sensing of Environment, Volume 92, Issue 4, 30, Pages 475-482. September 2004.

Jensen, J. R., 1996. Introductory Digital Image Processing: A remote sensing perspective. 2nd Edition. Prentice-Hall.

Jensen, J. R., 2007. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. 2nd Ed. Upper Saddle River. Prentice Hall, 592 pp.

Lucas, R., Carreiras, J., Proisy, C., Bunting, P. Alos Palsar applications in the tropics and subtropics: Characterisation, mapping and detecting change in forests and coastal Wetlands. 2008.

Lucas, R., *et. al.* Characterisation and Monitoring of Mangroves Using ALOS PALSAR Data. Post 2008.

Luu, Thi Phuong Mai. Wetland habitat studies using various classification techniques on multi-spectral landsat imagery. Case study: Tram chim National Park, Dong Thap Vietnam. Tesis para optar al grado de Magister en Tecnologías Geoespaciales (Programa CE Erasmus Mundus). Vietnam, Febrero 2009.

Mcfeters, S. K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 17, No. 7, 1425-1432.

Mitsch, W.J. & Gosselink J.G. Wetlands. 2000. John Wiley & Sons, Inc, New York, Third Edition.

NRSMPA NATIONAL REPRESENTATIVE SYSTEM OF MARINE PROTECTED AREAS. Strategic Plan of Action: Review of Methods for Ecosystem Component Mapping (Action 8 – Review Methods for Ecosystem Mapping). New South Wales, 2000.

Salinas, W., Treviño, E., Jaramillo, J., Campos, J. Identificación y Clasificación de Humedales Interiores del estado de Tamaulipas por Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica. *Investigaciones Geográficas*, número 049. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México, pp.74-91. Diciembre 2002.

SAG - BIOTA. Estudio de los sistemas vegetacionales azonales hídricos del altiplano. 2006.

SAG - BIOTA. Estudio de los sistemas vegetacionales azonales hídricos del del valle central y precordillera del Bío-Bío. 2009.

Smith, L. Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: a review. *Hydrological Processes*, vol. 11, 1427±1439. 1997.

Ousmane, A. 1995. Télédétection et ressources en eau. En: Actes de l'atelier international. Montpellier, France. 30 novembre au 1 décembre 1995.

Oyola, N. Identificación de Humedales del Norte Grande de Chile Utilizando Técnicas Geomáticas en Imágenes Satelitales Landsat. 2009.

Paruelo, J.M. Ecosystems functional characterization by means of remote sensors. *Ecosystems* 17 (3): 4-22. September 2008.

Peña, M. Correcciones de una imagen satelital ASTER para estimar parámetros vegetacionales en la cuenca del río Mirta, Aisén. *Bosque (Valdivia)*, vol.28, no.2, p.162-172. ISSN 0717-9200. 2007.

Polidorio, A. M., Garcia, A.M., Nobuhiro N., Bueno M. 2005. Segmentação de corpos d'água em imagens multiespectrais e temporais usando watershed com marcadores automaticamente definidos. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia*. INPE, p. 4249-4257. Brasil, 16-21 abril 2005.

RAMSAR, Inventario de humedales. Manual 10. Junio de 2004.

Rangel-Ch., J. O. (ed.). *Colombia Diversidad Biótica III. La región Paramuna*. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Instituto A. Von Humboldt, Bogotá. D.C. 2000.

UNEP-WCMC. *In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs*. Cambridge, UK. 2006.

Villeneuve, J. *Delineating wetlands using geographic information system and remote sensing technologies*. Thesis for the degree of Master of Science. Texas A&M University. 2005.

WWF & WB, 1995. *Evaluación del Estado de Conservación de las Regiones Terrestres de América Latina y el Caribe*.

Consultas en Internet:

http://www.conama.cl/portal/1301/articles_43344_ProyectosLey.pdf

www.dipres.cl

<http://glovis.usgs.gov>

<http://www.fws.gov/>

<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>

<http://www.inpe.br/>

www.medwet.org

8 EQUIPO DE TRABAJO

CENTRO DE ECOLOGIA APLICADA (CEA)

- Manuel Contreras Leiva. PhD, MSc (Director proyecto)
- Natacha Oyola. MSc (Jefe proyecto)
- Andrea Ramírez (especialista cartografía)
- Macarena Ojeda (especialista calidad de agua)
- Danilo Garay (especialista vegetación)
- Tomás Rioseco (especialista imágenes satelitales-vegetación)
- Dani Novoa (especialista imágenes hiperespectrales)
- Técnicos de terreno (CEA)
- Laboratorio Ambiental CEA (SEASA)

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

- Alejandra Figueroa

SERVICIO AGRICOLA GANADERO (SAG)

- Mario Ahumada

DIRECCION GENERAL DE AGUAS (DGA)

- Fernando Aguirre
- Sonia Mena

COMITÉ NACIONAL DE HUMEDALES

9. AGRADECIMIENTOS

A través de estas breves palabras quisiéramos manifestar nuestro agradecimiento a numerosos profesionales pertenecientes a Instituciones del Estado, universidades, organizaciones no gubernamentales, empresas y personas naturales, que a través de sus comentarios y observaciones realizadas en reuniones técnicas en las ciudades de Concepción y Santiago, permitieron mejorar los resultados de este estudio.

10. GLOSARIO

Abiótico: En el ámbito de la biología y ecología, aquello que no forma parte o no es producto de los seres vivos.

Biótico: Medio o componente de los ecosistemas que reúne al conjunto de materia viva.

Bandas espectrales: Corresponde a la sistematización de la reflectancia de la luz generada por los objetos y capturada por los sensores remotos. Cada banda congrega un rango de longitud de onda que presenta un comportamiento electromagnético similar. Algunas de las agrupaciones más características son las asociadas al espectro electromagnético visible, el infrarrojo cercano, termal, entre otros.

CAACH: Corporación de Ambientes Acuáticos de Chile

Canal: En la definición de Ecotipos corresponde a un tipo de cuerpo de agua desde la perspectiva de su morfología que incluye río, quebrada, canales estacionales o ramblas. (CEA, 2006)

Catastro Nacional de Humedales: En el marco del presente estudio corresponde al levantamiento geográfico de zonas húmedas sobre 0,4 ha de Chile continental e islas mayores, relevados a través de percepción remota satelital, en particular con material producido por el sensor Landsat TM entre los años 2000 y 2006. Primera Etapa del Inventario Nacional de Humedales y el Seguimiento Ambiental.

CDB: Convención de Biodiversidad

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Clasificación Supervisada: Técnica de clasificación de elementos usada en análisis de imágenes remotas basada en la disponibilidad de áreas de entrenamiento. Estas deben ser áreas lo más homogéneas posibles y en las que sepamos lo que había el día que se tomó la imagen. Por ello esta operación se realiza el mismo día en el que el satélite toma la imagen y luego se compra esta. Otra posibilidad es utilizar fotografía aérea o información de otro tipo. En otras palabras, consiste en clasificar (etiquetar) nuevos objetos basándose en la información de una muestra ya clasificada.

CNR: Comisión Nacional de Riego.

CONAF: Corporación Nacional Forestal.

CONAMA: Comisión Nacional del Medioambiente actual Ministerio del Medioambiente.

Cubeta: En la definición de Ecotipos corresponde al perímetro mojado de los humedales, frecuentemente la morfología de la cubeta afecta el funcionamiento de los mismos. (CEA, 2006)

DATUM: Punto de tangencia entre un elipsoide de referencia y el geoide o superficie de la tierra determinada geodésicamente, para su representación sobre un plano. Es utilizado en el desarrollo de cartografía.

DGA: Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas.

Ecotipo: Unidad de análisis que corresponde a una familia de humedales que comparten propiedades, atributos, y amenazas similares.

Ecosistemas: son sistemas conceptuales que representan parcialmente la naturaleza, constituidos por elementos bióticos y abióticos que interactúan recíprocamente en el tiempo y el espacio. La definición de los límites del ecosistema depende fundamentalmente de la pregunta planteada por el investigador o el fenómeno que se intenta explicar.

Espectro electromagnético: Es el conjunto de longitudes de onda que son emitidas por todo cuerpo sometido a temperaturas superiores a 0° Kelvin (-273°C). Las emisiones que son representadas por unidades de medida fluctúan entre los 1000 km (ondas de radio) y menos de 1 nanómetro (Rayos gamma), pasando por el espectro visible entre los 0,4 y 0,7 micrómetros.

Estado Trófico: Productividad del ambiente acuático.

Estructura: es la configuración específica de los ecosistemas, que esta dada por los componentes bióticos y abióticos y sus interacciones. Un cambio en la configuración se traduce en un cambio del ecosistema.

Eutroficación: Es un proceso natural de enriquecimiento de los humedales que afectado por un aumento de nutrientes exógenos (actividad antrópica) se ve acelerado. Estado de alto contenido de materia orgánica en un humedal. Proceso unidireccional e irreversible.

Factor forzante: es aquella variable que regula el funcionamiento o expresión dinámica del ecosistema.

Fenología: estudio de la relación entre los factores climáticos y los ciclos de los seres vivos.

Fotointerpretación: ligada a las ciencias de la tierra es el análisis de los elementos de un territorio a través de la interpretación principalmente de ortofotos (fotografía corregida a la vertical de cada punto) y por medio de estereoscopía (mecanismo que permite, con el uso de dos ortofotos del mismo lugar, visualizar el territorio en tres dimensiones).

HZ: Hertz, Unidad de frecuencia.

Humedal: ecosistemas asociados a sustratos saturados temporal o permanentemente de agua, los cuales permiten la existencia y desarrollo de biota acuática.

Humedal indicador del estado ambiental de una cuenca: Aquellos humedales y/o secciones de escurrimientos superficiales seleccionados por cuenca para monitoreo y

seguimiento ambiental de una cuenca, sustentados en la clasificación por Ecotipos de perspectiva ecosistémica.

Huso UTM: Componente de un sistema de división de la superficie terrestre sobre el sistema de proyección UTM. Se divide la Tierra en 60 husos de 6° de longitud, la zona de proyección de la UTM se define entre los paralelos 80° S y 84° N. Cada huso se numera con un número entre el 1 y el 60, estando el primer huso limitado entre las longitudes 180° y 174°W y centrado en el meridiano 177° W. Cada huso tiene asignado un meridiano central, que es donde se sitúa el origen de coordenadas, junto con el ecuador. Los husos se numeran en orden ascendente hacia el este.

IGM: Instituto Geográfico Militar.

Imágenes Landsat TM: Imágenes captadas por sensor satelital de la segunda generación del Landsat, tipificado como Thematic Mapper, en actividad desde los 90'. Incorpora 7 bandas espectrales, incluyendo el espectro visible, infrarojo y termal, con resolución espacial de 30 mts en todas a excepción de las banda 6 de 120 mts. de resolución.

IMU: Unidad de medición inercial (Inertial Measurement Unit)

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil.

Landsat: serie de satélites construidos y puestos en órbita por EE. UU. para la observación en alta resolución de la superficie terrestre.

Macrófitas: Plantas Acuáticas

Matriz de Confusión: Herramienta de visualización que se emplea en aprendizaje supervisado, esto es para deducir una función a partir de datos de entrenamiento. Permite hacer una evaluación de la exactitud temática en los trabajos de teledetección y fotointerpretación.

METI: The Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan.

mV: Milivoltio. Unidad de medida del potencial eléctrico.

NCh: Norma Chilena. Sigla usada en la nomenclatura de las normas del Instituto Chileno de Normalización.

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index (Índice de diferencias de vegetación normalizadas). Los valores varían entre -1 y 1.

NDWI: Normalized Difference Water Index (Índice de diferencias de agua normalizadas). Los valores varían entre -1 y 1.

NM: Nanómetro, Unidad de longitud que corresponde a milmillonésima parte de un metro.

NMP/L: Número más probable por litro (unidad de medición de Coliformes)

NSCA: Norma Secundaria de Calidad del Agua.

OECD (inglés) = OCDE Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos

Percepción Remota: es la técnica para obtener información de un objeto o un proceso, por análisis de datos obtenidos mediante un instrumento que no está en contacto físico con los objetos. El tipo de datos susceptibles de ser obtenidos por percepción remota puede originarse en la distribución o cambios de diferentes fuerzas (gravedad, magnetismo), de ondas acústicas o de energía electromagnética.

Pitch-Row-Yaw: Inclinación, movimientos horizontal y vertical.

Plano: En la definición de Ecotipos corresponde a un tipo de cuerpo de agua desde la perspectiva de su morfología que incorpora llanura de inundación, llanura palustre o llanura de inundación intermitente.(CEA, 2006)

RENDVI: Red Edge Normalized Difference Vegetation Index (Índice de diferencias de vegetación normalizadas en la banda del rojo)

SAG: Servicio Agrícola Ganadero. Ministerio de Agricultura.

Sensor Aisa Eagle: Sistema de imagen hiperespectral aerotransportable, capaz de capturar la respuesta espectral de cientos de banda y con una resolución espacial que puede alcanzar precisiones submétricas, dependiendo de la altura de vuelo.

SNASPE: Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado.

STS: Sólidos totales suspendidos.

Ug/L: Microgramos por litro (unidad de medición de concentración de sustancias o compuestos químicos en el agua).

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

USGS United States Geological Survey

UTM: Universal Transversal de Mercator. Sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano.

Variables de Estado: Aquellos elementos bióticos y abióticos que componen la estructura de los humedales y que pueden ser usados para describir el comportamiento global de los humedales.

WCPA: World Commission on Protected Areas (Comisión Mundial para Áreas Protegidas).

WGS84: Son las siglas en inglés de World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984) y corresponde al Datum más comúnmente usado en la representación cartográfica de instituciones públicas y privadas en el país.

ANEXOS

Anexo 1: Síntesis revisión documentaria internacional acerca de los humedales.

Anexo 2: Estado actual en materia de humedales en Chile.

Anexo 3: Cuadros resumen clasificación Ecotipos.

Anexo 4: Tramos Río Aconcagua.

Anexo 5: Caracterización limnológica del río Aconcagua.

Anexo 6: Caracterización de la flora y vegetación asociada a tramos del río Aconcagua.



Anexo 1

Síntesis revisión documentaria internacional acerca de los humedales

Inventario de humedales

De acuerdo al Manual 12 de Ramsar²¹ un “Inventario de Humedales” corresponde a una “Recolección y/o reunión de información básica para la gestión de los humedales, incluido el establecimiento de una base de información para actividades de evaluación y monitoreo específicas”.

En el plano internacional la revisión de literatura nos confirma la gran diversidad y cantidad de iniciativas en la generación de sistemas de gestión de humedales, así como en el uso de herramientas implementadas para el levantamiento de la información. A continuación se detallan algunas publicaciones de interés, la motivación que los ha llevado a profundizar en el conocimiento de los ecosistemas de humedales, la utilidad de ello y sus contenidos, así como algunos proyectos de inventario de humedales destacados por Ramsar.

Sistemas de planificación y gestión

UNEP-WCMC THE UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME WORLD CONSERVATION MONITORING CENTRE. (2006) Cambridge, UK. In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs.

Este documento es resultado de la reflexión e investigación de la comunidad internacional en torno a los impactos devastadores sobre áreas costeras causados por el tsunami en el Océano Índico el 2004 y aquellos resultantes de la acción de los huracanes Katrina, Rita y Wilma el 2005. Con el objetivo de respaldar la toma de conciencia en torno a la vulnerabilidad e importancia de los servicios ecosistémicos costeros, se desarrolló el estudio y sistematización de los principales tópicos en torno a dos ecosistemas costeros altamente amenazados en la actualidad: Manglares y Arrecifes de Coral. La línea investigativa aborda:

- Acercamiento catastral de los ecosistemas en cuestión, servicios relacionados y su estado de conservación.
- Delimitación de los factores que interactúan en torno a estos ecosistemas.
- Definición, categorización y valorización económica de los beneficios aportados por estos ecosistemas y las pérdidas ocasionadas por su ausencia o deterioro.
- Estudio y establecimiento de la dinámica de reproducción y crecimiento, umbrales de resiliencia, indicadores de vulnerabilidad, mecanismos de recuperación y restauración.
- Recomendaciones para gestión adecuada de ecosistemas costeros, estimación de sus costos y beneficios. Destaca manejo integrado de zonas costeras, definición de áreas de protección marina y evaluación y monitoreo para gestión adaptativa.

EPA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2005), QUEENSLAND GOVERNMENT, Brisbane. 2005. Wetland Mapping and Classification Methodology – Overall Framework – A Method to Provide Baseline Mapping and Classification for Wetlands in Queensland, Version 1.2

²¹ Manual 12 de Ramsar “Inventario de Humedales”

Esta iniciativa describe la configuración de dos ámbitos claves en la gestión de humedales. En su eje principal entrega antecedentes metodológicos para capturar los elementos esenciales a usar en evaluación y monitoreo de humedales, incluyendo categorización y cartografía y en otro plano, deja de manifiesto la organización y jerarquía institucional subyacente dentro del sistema de gestión, coordinación con entes claves, distribución de funciones y responsabilidades, además de líneas participativas en los acuerdos para la definición de parámetros a considerar.

Bajo los principios que configuraron la Estrategia para la Gestión y Conservación de los Humedales de Queensland, primera política oficial en el tema, se elabora este documento guía como parte de una serie de iniciativas para el apoyo a la implementación de dicha Estrategia.

La prioridad inicial fue establecida en la localización de los sistemas de humedales y en el diagnóstico de su nivel de degradación o pérdida como resultado del franco deterioro de la calidad de las aguas y biodiversidad. Para ello el requerimiento indispensable fue establecer la distribución de humedales, su clasificación y representación cartográfica a escalas adecuadas que permitieran emprender acciones de manejo, incorporando el conocimiento a esa fecha reunidos desde otras iniciativas similares.

El desarrollo del proyecto considera:

- Justificación del estudio: importancia de contar con un mapeo y clasificación
- Definición consensuada de los requerimientos para mapeo y clasificación de Humedales en Queensland, considerando el trabajo a escala nacional.
- Descripción metodológica general de los pasos a seguir para el desarrollo del mapeo y clasificación de humedales, especificando los vínculos a instructivos de detalle²².
- Establecimiento de las limitaciones en la obtención de los datos y normalización de escalas de información.
- Por medio de apéndices entrega una serie de reglas-sugerencias para facilitar la correcta aplicación del método planteado, abreviaturas y conceptos asociados.

FAO FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – N.U, Rome. 1995. Código de Conducta para la Pesca Responsable.

Esta iniciativa en acuerdo con el Manual 10 de Ramsar, se configura como un “Marco general eficaz para las actividades nacionales e internacionales encaminadas a velar por una explotación sostenible de los recursos vivos acuáticos gracias al

²² Attachment 1: Wetlands Regional Ecosystems
Attachment 2: Hydrophyts as provided by the Queensland Herbarium.
Attachment 3: (sin título especificado)
Attachment 4: Density Slicing (DS)
Attachment 5: Normalised Difference Water Index (NDWI)
Attachment 6: Accuracy Assessment Methodology and Results
Attachment 7 (7a a 7j): amendment of the coastline
Attachment 8: Local Hydrology and/or other Disturbance Examples
Technical Specifications and Data Recording Standards
Otros

Nota: Estos instructivos de detalle eventualmente pueden ser descargados de la web, en su ausencia pueden ser solicitados directamente al Gobierno de Queensland.

establecimiento de principios y de normas aplicables a la conservación, la ordenación y la explotación de todas las actividades de pesca (pesca tierra adentro, marina y acuicultura) al mismo tiempo que se respetan debidamente los ecosistemas y la diversidad biológica.” (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2007)²³. Todo ello bajo principios de sostenibilidad y consideraciones en el ámbito social y económico.

Esta iniciativa aborda:

- Presentación de los fundamentos que justifican la existencia de un código de conducta para el manejo responsable de los recursos de pesca en mar y cuerpos de agua interiores y el porqué del carácter voluntario de su implementación. Resalta instrumentos normativos de origen internacional y flexibilidad del código, como componentes relevantes integrados en las líneas de acción recomendadas.
- Definición de actores y elementos claves en el ámbito de los recursos y medio ambiente para la implementación del código.
- Establecimiento de una serie de artículos temáticos, donde se entrega por elemento focal un árbol de tópicos: antecedentes generales, objetivos de manejo, procedimientos y marco de gestión, guía para la toma de datos y su manejo, alcances preventivos, indicadores de gestión. Algunos artículos centrales son el de Manejo de pesca, Desarrollo de la acuicultura, Requerimientos desde la institucionalidad de los países con jurisdicción marítima, entre otros.

IUCN INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES, Nairobi. 2004. Managing Marine Protected Areas: A Toolkit for the Western Indian Ocean.

En este caso la iniciativa genera un instrumento de gestión para el manejo de áreas de protección marina en el Océano Índico Occidental elaborado con la colaboración de un conjunto de organizaciones de la Región vinculadas al proyecto de Conservación de la Biodiversidad Marina IUCN. Su motivación central es cubrir la necesidad de contar con un instrumento de lenguaje común que permita la sistematización, normalización y eventual vinculación de las innumerables iniciativas y acciones en torno al manejo de áreas marinas protegidas emprendidas en la zona y toda información territorial y temática de utilidad al cumplimiento de sus objetivos. La recomendación de links para profundización de algunos temas es una herramienta usada con frecuencia en el documento y la actualización de información posteada permanentemente en su página web.

La estructura de esta herramienta considera:

Sección Introductoria: mapas de localización de las áreas de protección y fichas con información técnica y administrativa de cada una de ellas, detalle de las organizaciones e individuos que colaboran de alguna manera en su gestión, definición del concepto Áreas de Protección Marina bajo el cual se desarrolla el documento, categorías IUCN para áreas de protección marina de acuerdo a metas y objetivos de gestión.

²³ Secretaría de la Convención de Ramsar, 2007. *Manejo de las zonas costeras: Cuestiones concernientes a los humedales y manejo integrado de las zonas costeras*. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 3ª edición, vol. 10. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza)

Sección de Gestión de Procesos: esta parte considera tópicos de gestión incluyendo los requerimientos humanos, financieros, organizacionales y técnicos para cumplir con los objetivos. Desarrolla el cuadro institucional y legislativo, procesos de participación ciudadana, planificación y reportes, recursos humanos, financiamiento, equipamiento e infraestructura y requerimientos de monitoreo, evaluación e investigación.

Sección de Conservación y Uso Sustentable: “estado del arte” de la gestión del área de estudio, organizados bajo los temas de hábitats y especies; pesca; turismo, recreación y educación y desarrollo costero y transporte marítimo. En algunos casos el desarrollo es más profundo que en otros, dependiendo del estado de avance de las intervenciones locales.

Diane Conrick, NATIONAL LAND & WATER RESOURCES AUDIT, Canberra 2007. Matter For Target Inland Aquatic Ecosystem Integrity – Wetlands Development of National Indicators for Wetland Ecosystem Extent, Distribution and Condition.

Como parte de una iniciativa del Gobierno de Australia, la unidad encargada del seguimiento de los recursos naturales y territorios, desarrolla una serie de indicadores, protocolos y metodologías para el seguimiento y registro de los procesos de gestión de los recursos naturales en el territorio de Australia. Estos procesos consideran las acciones emprendidas por el inventario de humedales, reportes de la implementación de los acuerdos Ramsar, evaluaciones y monitoreos regionales y a nivel nacional.

Los resultados del proyecto además de entregar una extensa revisión de literatura a nivel nacional e internacional acerca de programas, generación de indicadores de gestión de recursos naturales e institucionalidad asociada al monitoreo de humedales, establece un instructivo para la implementación de un set de indicadores de gestión y metodología recomendadas.

Instrumentos de teledetección para la fase de catastro

EPA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2005), QUEENSLAND GOVERNMENT, Brisbane. 2005 Wetland Mapping and Classification Methodology – Overall Framework – A Method to Provide Baseline Mapping and Classification for Wetlands in Queensland. Version 1.2, ATTACHMENT 5

Basado en la necesidad de definir las pérdidas de humedales en Queensland se elabora un proyecto para desarrollar un método de restitución cartográfica de cuerpos de agua a través de técnicas de procesamiento de imágenes satelitales del tipo Landsat TM, de resolución constante de 25 m² y escala de representación a nivel regional no superior a 1:100.000. El trabajo se centra en la elaboración de un indicador de diferencia de agua normalizado (NDWI Normalised difference water index), derivado de los principios que sustentan el NDVI (Normalised difference vegetation index)

Los resultados del estudio abordan:

- Requerimientos técnicos de las imágenes
- Pasos para el procesamiento
- Problemas en el procesamiento

- Limitaciones de las fuentes de datos.
- Alternativas para complementar imágenes deficientes para el desarrollo del indicador

Lucas et al. 2008. Alos Palsar applications in the tropics and subtropics: Characterisation, mapping and detecting change in forests and coastal Wetlands.

Estudio realizado por la Agencia de Exploración Espacial Japonesa (JAXA) y el Programa de “Kyoto and Carbon” (K&C) que evalúa una metodología para monitorear de manera oportuna, regular, sistemática y confiable cambios en ecosistemas de bosques, incluyendo áreas de humedales, a escala regional. La herramienta central esta representada por Imágenes PALSAR (Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar) tomadas por el satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite), tecnología que desde su creación en el 2006 estuvo principalmente orientada hacia el monitoreo de desastres y protección ambiental, contando con información multidimensional acerca de la estructura de la vegetación en correlación con las condiciones de tiempo e iluminación y una resolución espacial de 90 m.

Se especifican procesamientos y datos, definición del sistema de clasificación de bosques y manglares en Australia y caracterización de algunos indicadores usados para evaluar cambios.

Thi Phuong Mai Luu. 2009. Wetland habitat studies using various classification techniques on multi-spectral landsat imagery. Case study: Tram chim National Park, Dong Thap Vietnam. Tesis para optar al grado de Magister en Tecnologías Geoespaciales (Programa CE Erasmus Mundus).

Desarrolla un análisis comparativo de tres métodos para el desarrollo de un sistema de clasificación de humedales utilizando tecnologías geoespaciales (ERDAS IMAGE, ENVI, ArcGis). Revisa tipos de clasificación desarrolladas por imágenes satelitales y la evolución de los procesos de clasificación, configurando luego un análisis de los tres métodos: método no supervisado de agrupación de algoritmos ISODATA, complementación entre una clasificación supervisada y otra no supervisada y finalmente incorpora al análisis la realización de un set de reglas para la distinción entre zonas de bosque y agua.

Los objetivos específicos que se persiguen con el estudio de estos métodos es el identificar y mapear tipos de humedales, facilitar la clasificación por medio del procesamiento de imágenes, evaluar la precisión de distintas alternativas de procesamiento de imágenes y generar conocimiento para construir una clasificación de tipo de humedales más precisa y acorde a los requerimientos de gestión.

En la revisión de las tres técnicas de clasificación se responde a preguntas como: la pertinencia del uso de imágenes Landsat en la identificación y mapeo de humedales en áreas pequeñas; el nivel de resolución espectral moderada logra una adecuada separación de clases de humedales; y cómo recuperar antecedentes espaciales y espectrales para ser utilizados en una clasificación de humedales por expertos.

Lucas et al. 2008. Characterisation and Monitoring of Mangroves Using ALOS PALSAR Data.

Este trabajo define los beneficios de un método alternativo para cubrir la necesidad de registrar humedales con mayor detalle a una escala regional y que surge del programa K&C de la agencia espacial de Japón, la cual aplica la conjunción de dos herramientas de percepción remota -ALOS PALSAR y Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) - logrando estimar algunos parámetros físicos de los diferentes ecosistemas, su clasificación estructural y registro de cambios.

Da cuenta de los alcances del estudio, métodos, resultados, discusión y conclusiones, recomendaciones y requerimientos de investigación futura.

Harlow G. 2002. Eelgrass Mapping Review. Canadian Wildlife Service Environment Canada. Vancouver.

Se elabora un documento guía acerca de las alternativas existentes para monitorear y mapear un tipo de pasto submareal. Se analiza en su desarrollo el ítem sensores remotos disponibles para la toma de datos necesarios para su evaluación y monitoreo y además la escala espacial para su representación. Es de interés el desarrollo de algunos cuadros con antecedentes comparativos de sensores y escalas de representación y detalle de la información posible de vincular a cada uno de aquellos.

Se revisan algunos casos de estudios y métodos utilizados.

Experiencias destacadas por RAMSAR en el desarrollo de Inventario de Humedales²⁴

Inventario de la Iniciativa para los Humedales Mediterráneos (Mediterranean Wetlands Initiative (MedWet) inventory)

Se trata de un conjunto de métodos e instrumentos normalizados pero flexibles, incluida una base de datos para la gestión de los datos, aplicado al inventario de la región mediterránea. Si bien no se concibió como un inventario total de los humedales del Mediterráneo, suministra un enfoque común cuya aplicación se ha adoptado y adaptado a distintos países mediterráneos y de otras regiones.

Propósito y objetivos: Determinar dónde hay humedales en los países del Mediterráneo y saber cuáles son los sitios prioritarios para la conservación; identificar los valores y funciones de cada humedal y suministrar una base de referencia para medir los cambios futuros; y proporcionar un instrumento para la planificación y la gestión que permita establecer comparaciones entre los sitios

Examen de la información: Un proceso de consulta con un grupo asesor de expertos del Mediterráneo y otras regiones. Este grupo examinó las experiencias y enseñanzas de otros inventarios y distintos lineamientos de Ramsar sobre la gestión de los humedales.

Examen de los métodos: Examinó los métodos sobre bases de datos utilizados en otros lugares de Europa, los Estados Unidos y Asia. Una consideración esencial fue la compatibilidad con las bases de datos que se estaban utilizando en Europa, por

²⁴ Antecedentes extraídos del Manual 12 de Ramsar: “Inventario de Humedales”

ejemplo el programa de Biotopos CORINE (Coordination of Information on the Environment). Se diseñó el método de modo que incluyera un formato de datos simple y otro complejo.

Escala y resolución: Se han adoptado escalas múltiples para cuencas fluviales, sitios y hábitat de humedales.

Conjunto de datos básicos: Se han establecido hojas normalizadas de datos para cuencas fluviales, sitios de humedales (identificación, ubicación, descripción, valores, estado), hábitat, flora, fauna, actividades y repercusiones, datos meteorológicos y referencias.

Clasificación de hábitat: La clasificación de Ramsar puede utilizarse en una escala amplia. La información específica sobre sitios se ha obtenido adaptando la clasificación del Inventario Nacional de Humedales de los Estados Unidos.

Método de Cinco pasos: i) selección de sitios; ii) identificación de sitios con medios cartográficos o con teledetección y evaluación sobre el terreno; iii) clasificación de hábitat; iv) reunión y gestión de datos mediante hojas de datos normalizadas y base de datos; y v) realización de mapas aplicando convenciones estándar.

Gestión de datos: En la actualidad es manejada con base de datos en lenguaje Visual Basic y con interfase a cartografía en SIG.

Calendario y recursos: Establecen una relación costo/complejidad del inventario. Puede confeccionarse un inventario simple con pocos recursos, pero un inventario detallado exige recursos humanos y financieros superiores. Es fundamental contar con una evaluación de recursos temprana.

Presentación de informes: Se realiza a través de hojas de datos normalizadas para almacenar la información y una base de datos para facilitar la realización de los informes. Pueden determinarse e incluirse los formatos específicos de los informes.

Examen y evaluación: Se conforma un grupo de trabajo sobre inventario que evalúa los progresos realizados en la obtención y utilización de información de inventarios aplicando este enfoque, y que, en caso necesario, actualiza la información y los métodos.

Inventario Nacional de Humedales de los Estados Unidos (United States national wetland inventory)

Este programa ha desarrollado una clasificación y una metodología para producir un inventario de base cartográfica.

Propósito y objetivos: Realizar un inventario de humedales como recursos naturales que se utiliza en la planificación, reglamentación, gestión y conservación de los humedales.

Examen de la información: Se revisó la cantidad de estudios e inventarios de humedales existentes para determinar el estado de la protección de los humedales y la disponibilidad de mapas de humedales.

Examen de los métodos: Se revisaron los inventarios existentes de humedales y se realizaron consultas con organismos de los estados y federales para determinar qué técnicas de inventario se estaban usando.

Escala y resolución de Mapas: producidos a escala 1:80.000 o 1:40.000.

Conjunto de datos básicos: Se realiza una reunión de datos normalizados de conformidad con la información requerida para la clasificación de hábitat y la confección de mapas normalizados para cada estado.

Clasificación de hábitat: Clasificación jerárquica preparada como parte integrante del inventario para describir unidades ecológicas y conseguir uniformidad en los conceptos y la terminología.

Método: Sobre la base de la interpretación de fotografías aéreas en infrarrojo, inicialmente a escala 1:24.000 y más recientemente a escala 1:40.000 hasta 1:80.000. La unidad de cartografía varía según la región y la facilidad de identificar los humedales. El método comprende comprobaciones sobre el terreno y análisis estereoscópico de las fotografías. Se están probando otras técnicas de teledetección.

Gestión de datos: Los mapas y los datos digitales están disponibles en línea en www.nwi.fws.gov. Los datos se analizan mediante un SIG utilizando ARC-INFO.

Calendario y recursos: Programa en curso desde 1974. Los mapas se actualizan cuando es preciso hacerlo y cuando se disponen de fondos.

Viabilidad y eficacia en función de los costos: El programa, de gran magnitud, contó con una financiación amplia, y actualmente está cartografiada una gran parte del país. Se incorporó un diseño estadístico para suministrar cifras válidas para zonas seleccionadas.

Presentación de informes: Se elaboran periódicamente las tendencias nacionales de los humedales, sobre la base de muestras estadísticas. Se han fijado objetivos cartográficos mediante leyes que se han revisado periódicamente.

Examen y evaluación: El inventario se ha sometido a exámenes periódicos y sus resultados se han evaluado y se han establecido nuevas metas y prioridades.

Estudio piloto: Hubo una etapa amplia de preparación de métodos antes de considerar operativo el inventario. Se puso a prueba extensamente sobre el terreno el sistema de clasificación en que se basa el inventario.

Programa Nacional de Humedales de Uganda

El inventario es un componente del Programa Nacional de Humedales en curso de ejecución. Se lleva a cabo principalmente a nivel local con formatos normalizados e incluye un componente de capacitación.

Propósito y objetivos: Medir, describir, cuantificar y cartografiar todos los humedales y suministrar a las personas encargadas de adoptar decisiones y a los planificadores, especialmente en los distritos, información para planificar la gestión y apoyar la aplicación de políticas, la valoración económica y la planificación general de la gestión de los recursos naturales.

Examen de la información: Se llevó a cabo un examen de la bibliografía antes de iniciar el inventario.

Examen de los métodos: Se llevó a cabo un examen antes del inicio del proceso de inventario.

Escala y resolución: Utiliza imágenes SPOT a 1:50.000 para abarcar todo el país.

Conjunto de datos básicos: Datos biofísicos que abarcan el nombre del sitio, su superficie, ubicación, descripción general, estacionalidad, biota (tipos de vegetación y animales presentes) y datos de gestión referentes al uso de las tierras, la tenencia de las tierras, el estado de la conservación, valores, amenazas.

Clasificación de hábitat: Derivada de la geomorfología, régimen hídrico y vegetación.

Método: Análisis de mapas basado en un SIG con datos de teledetección y mapas topográficos a escala semejante (1:50.000), además de estudios sobre el terreno. Utiliza hojas normalizadas de datos. Todos los humedales están codificados. Los métodos se documentan en una guía del inventario de humedales. La actividad se lleva a cabo en los distritos con personal local designado para realizar la labor sobre el terreno y recopilar los informes.

Gestión de los datos: La base de datos computadorizada usando Microsoft Access se basó en hojas normalizadas de datos obtenidos sobre el terreno. Esta base de datos se enlaza con la base de datos cartográfica shapes en ArcView utilizando códigos de humedales. El vínculo entre las dos bases de datos forma el Sistema Nacional de Información sobre Humedales (NWIS) que está ya elaborado y en el que se están introduciendo los datos.

Calendario y recursos: Proceso en marcha con actualizaciones periódicas. El inventario es una de las actividades principales del Programa Nacional de Humedales financiado por donantes y ejecutado con otros asociados.

Viabilidad y eficacia en función de los costos: La viabilidad se evaluó mediante estudios piloto. La eficacia en función de los costos está relacionada con la complejidad de los sistemas de humedales, la amplitud de las superficies evaluadas, la disponibilidad de imágenes de teledetección y la capacidad.

Presentación de informes: Hojas normalizadas de datos utilizadas para almacenar información en una base de datos a fin de facilitar la confección de informes. Los distintos informes preparados en el plano de los distritos. Estos informes se unificarán en un Inventario Nacional de Humedales.

Examen y evaluación: Realizados dentro del proyecto en consulta con expertos externos.

Estudio piloto: Realizado en algunos humedales y luego en distritos.

Inventario de los Humedales de Asia (Asian Wetland Inventory)

Este enfoque se ha preparado atendiendo a las recomendaciones del informe Examen global de los recursos de los humedales y prioridades de los inventarios de humedales, presentadas en la Resolución VII.20. El método es una jerarquía que puede aplicarse en cuatro escalas espaciales, y se basa en gran medida en un proyecto de protocolo preparado en Australia y puesto a prueba en un estudio piloto en Japón. El estudio piloto ha hecho posible confeccionar un manual.

Propósito y objetivos: Suministrar una base de datos jerárquica sobre los humedales costeros e interiores de Asia.

Examen de la información Llevado a cabo en el examen mundial amplio del inventario de humedales realizado en nombre de la Convención de Ramsar (véase la Resolución VII.20).

Examen de métodos: Llevado a cabo en el examen mundial amplio del inventario de humedales realizado en nombre de la Convención de Ramsar y refinado mediante la elaboración de un manual.

Escala y resolución: Un enfoque jerárquico multiescalas con cuatro niveles de análisis: el nivel 1 a escala de 1:10.000.000 a 1:5.000.000; el nivel 2 a escala de 1:1.000.000 a 1:250.000; el nivel 3 a escala de 1:250.000 a 1:100.000; y el nivel 4 a escala de 1:50.000 a 1:25.000.

Conjunto de datos básicos Datos mínimos jerárquicos multiescalas en cada nivel de análisis:

Nivel 1: geología general, cubierta terrestre y clima de las cuencas fluviales;

Nivel 2: geología, geomorfología y clima de las regiones de humedales;

Nivel 3: características hidrológicas, climáticas, geomorfológicas, fisicoquímicas y biológicas para complejos de humedales; y

Nivel 4: inclusión de información sobre cuestiones de gestión, además de las descripciones de sitios del nivel 3.

Clasificación de hábitat: Derivada de datos mínimos sobre geomorfología y regímenes hídricos, complementada a veces con información sobre vegetación, extensión y calidad del agua.

Método: Análisis cartográfico basado en un SIG utilizando imágenes de teledetección y mapas complementados con estudios sobre el terreno que son más intensos en los niveles 3 y 4. Se dispone en cada nivel de análisis de hojas prescritas de datos y de campos con códigos acordados.

Gestión de los datos: El sistema de gestión de datos se construye sobre un motor para base de datos computadorizada con capacidades de red, interfaz usuario/datos y SIG. Éste es el componente primario de gestión, almacenaje y recuperación de datos del sistema. El sistema se basa en la plataforma Windows utilizando programas de MS Visual Basic y Access 97. El sitio en Internet (www.wetlands.org/awi) actúa como principal nodo de comunicación para la reunión de datos, los anuncios y los debates.

Calendario y recursos: Proceso en marcha con actualizaciones periódicas de información obtenida a partir de análisis nacionales o locales. El programa se ha

descentralizado mediante la estructura regionalizada de Wetlands International y sus asociados.

Viabilidad y eficacia en función de los costos: La viabilidad se evaluó mediante reuniones de proyecto y presentación de peticiones de financiación que precisaban resultados seleccionados. La eficacia en función de los costos estaba relacionada con la extensión de las superficies evaluadas y la cantidad de información de inventario preexistente, mapas e imágenes de teledetección. El procedimiento se basó en el examen por la Convención de Ramsar de inventarios de humedales, en el cual se comprobó que muchos inventarios no cumplían sus propósitos por una ambición excesiva, y por no aplicar una gestión de los datos y unos procedimientos de presentación de informes ajustados, o por ambas cosas, cuestiones todas ellas que se han tratado de modo cabal.

Presentación de informes: Se proporcionaron hojas de datos normalizadas para almacenar la información en una base de datos y facilitar la confección de informes. Los informes individuales se presentan por conducto de los proyectos descentralizados y si procede mediante copias apropiadas que Wetlands International incluye en su página en Internet.

Examen y evaluación: Facilitados en el seminario de Wetlands Internacional sobre el tema “Los humedales en un mundo cambiante”, celebrado en Wageningen (Países Bajos), el 30 de noviembre de 2001.

Inventario de los humedales del Ecuador

Es un inventario nacional de humedales que está a punto de finalizar, preparado por el Ministerio de Medio Ambiente, la Oficina de Ramsar y la Fundación Eco Ciencia, y cuyo objeto es prestar apoyo a la aplicación por el Ecuador de la Convención Ramsar y a la utilización racional de los humedales.

Propósito y objetivos: Suministrar información para ayudar a gestionar la biodiversidad de importancia mundial en los humedales del Ecuador y prestar apoyo a la conservación de los humedales del país mediante la identificación, caracterización y priorización de los humedales para su gestión y conservación.

Examen de la información: Se evaluaron documentos publicados, material de Internet, universidades y organizaciones de investigación.

Examen de métodos: Se examinaron métodos de inventario aplicados en Canadá, Venezuela, Brasil y partes de Argentina. Se consideró que cada método tenía limitaciones en cuanto a su aplicación en el Ecuador (demanda excesiva de recursos y capacidades, escasez de antecedentes disponible en el Ecuador, falta de un enfoque a escala de ecosistemas, entre otros).

Escala y resolución: Se reunió información a escala 1:50.000. Algunos humedales eran demasiado grandes para caber en mapas a esta escala, por lo que los sitios grandes se presentan a escalas diferentes, aunque la información relativa a ellos se mantiene en la base de datos a escala 1:50.000.

Conjunto de datos básicos: Los datos se reunieron utilizando una matriz de base cuadrática que incluía cinco criterios generales seleccionados, cada uno de ellos validado mediante una serie de variables analizadas. Se reunió información sobre rasgos sociales, económicos, zoológicos, botánicos, limnológicos y ecológicos (incluidos rasgos acuáticos y terrestres).

Clasificación de hábitat: La clasificación de los hábitats siguió los dos sistemas existentes que se están utilizando en el Ecuador.

Método: El método comprende los siguientes pasos: información reunida usando sensores remotos; validación y delineación de zonas utilizando una matriz numérica; información sobre aspectos socioeconómicos y ecológicos de los humedales derivada de entrevistas; examen de la información publicada; recolección de información primaria sobre aspectos ecológicos y sociales de los humedales. Se introdujeron los datos en un SIG que contenía capas fisiográficas para permitir la preparación de una estrategia recomendando usos de las tierras y las propuestas de gestión de los humedales dentro de sus cuencas.

Gestión de datos: La información cartográfica corre a cargo del departamento de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los investigadores mantienen individualmente otra información en formatos digitales. Se mantiene también una base de datos de fotografías de humedales.

Calendario y recursos: El proyecto empezó en 1996 con estudios piloto en dos provincias. Estaba previsto completar el estudio de todo el país en julio de 2002 pero la fecha se ha prorrogado ahora hasta principios de 2003 por motivos financieros. El costo total del proyecto es de 1 millón de dólares de los EE.UU. durante los siete años del proyecto, con financiación de la Oficina de Ramsar, el Banco Mundial, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, la Fundación MacArthur y el Gobierno del Ecuador.

Viabilidad y eficacia en función de los costos: La viabilidad y la eficacia, en función de los costos, se evaluó en la etapa de preparación del proyecto aplicando los procedimientos de evaluación incremental de los costos del Banco Mundial.

Presentación de informes: Se elaboran informes para su publicación y los datos se mantienen electrónicamente en la base de datos de SIG.

Examen y evaluación: Cada seis meses se realiza una evaluación por el Banco Mundial del proceso y de los progresos en el logro de las metas. El informe final pasa un examen de prepublicación por la Secretaría de Ramsar.

En Chile la tarea de consolidar el Inventario Nacional de Humedales está comenzando. Concluyendo esta fase de catastro nacional, le resta un camino largo en el poblamiento de su base de datos e indicadores de evaluación, el que apoyado por el producto resultante podrá priorizar los trabajos por Región administrativa, cuencas y humedales de mayor urgencia.

1.3.4 Aproximación a los componentes de un Inventario de Humedales

Centrándonos en el concepto Gestión de Humedales, podemos establecer que el desarrollo e implementación de un proyecto de Inventario Nacional de Humedales se

torna complejo y de carácter dinámico, donde esencialmente se pueden reconocer siete componentes que se retroalimentan entre sí, a saber:

1. Elaboración de un Catastro de humedales y su representación espacial
 - Criterios de teledetección
 - Criterios de producción de cartografía base para humedales por escala de detalle.
 - Criterios de producción de cartografía temática de humedales por escala de detalle
2. Criterios de clasificación y definición de humedales de acuerdo a escala de detalle y objetivo de uso.
3. Definición de variables a levantar, controlar y/o representar espacialmente de acuerdo a sus objetivos de uso.
 - Variables a escala nacional
 - Variables a escala regional
 - Variables a escala local
4. Sistema de monitoreo y evaluación
5. Plataforma tecnológica y protocolos de almacenamiento, actualización y difusión de datos
6. Equipo humano capacitado para el manejo y actualización del inventario.
7. Normativa sobre el recurso humedal y sistema de fiscalización²⁵.

Los inventarios de humedales permiten una aplicación en la gestión ambiental y con ella, el país podría tomar decisiones asociadas a la protección, preservación o conservación del recurso y particularmente al desarrollo de actividades productivas de manera informada y responsable, definiendo oportunidades de negocios a nivel regional y estableciendo prioridades de acuerdo a estas oportunidades, por ejemplo relativas a turismo, infraestructura, desarrollo inmobiliario y otros. Es posible implementar iniciativas rentables en estos ámbitos incorporando el patrimonio natural o, en otros casos, buscando alternativas viables cuando las prioridades sean la protección de estos ambientes. Para ello es necesario contar con información a tiempo real, sistematizada, de dominio público, cuya actualización este a cargo de un organismo o institución que permita establecer un sistema de seguimiento ambiental para dar cuenta de su evolución.

²⁵ Si bien este componente es externo al inventario, es de vital importancia para él en términos de validación y factibilidad para el cumplimiento de sus objetivos.



Anexo 2

Estado actual en materia de humedales en Chile

Estado actual en materia humedales en Chile

A nivel nacional, desde 1981 Chile ratifica y transforma en Ley su adhesión a la Convención Ramsar, cuerpo internacional más sólido sobre conservación de humedales. El año 2005 las iniciativas en torno a la implementación de la Convención Ramsar se validaron y consolidaron institucionalmente a través de la conformación del Comité Nacional de Humedales²⁶ y la aprobación de la Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Racional de Humedales, herramientas públicas que dan las directrices para emprender una acción coordinada a nivel nacional en la conservación de este recurso.

Congregando funciones de la administración pública en torno al recurso humedal, se reconocen variadas agencias involucradas en distintos aspectos en torno a ellos -en algunos casos de manera directa, en otros indirecta- y para las cuales se hace cada vez más urgente contar con información detallada y actualizada de ellos, en pos de una toma de decisiones bajo un universo sólido de datos y acorde a las exigencias y compromisos de plano internacional, requerimientos ambientales de orden planetario y a una política de Estado que debe velar por un medio ambiente libre de contaminación y preservación de la naturaleza (Artículo 19 N°8, Constitución Política de la República de Chile) procurando el desarrollo social, cultural y económico de sus habitantes. Meta esperada: conservación y eventual potenciación de nuestro capital ambiental, social, científico y económico emplazado en los humedales.

Para una mejor comprensión del paisaje institucional que enmarca el estudio y gestión de los humedales en Chile, a continuación se presenta un cuadro resumen (**Tabla 1.2**) que muestra la vinculación de los organismos públicos con sus funciones, cuerpos normativos e iniciativas relacionadas al recurso.

²⁶ integrado por: el MMA (coordinador), CONAF (Secretaría Técnica), Ministerio de Relaciones Exteriores,

Ministerio de Minería, Ministerio de Bienes Nacionales, Subsecretaría de Marina, Subsecretaría de Pesca, 8. Servicio Nacional de Pesca, Servicio Agrícola y Ganadero, Dirección General de Aguas, Dirección de Obras Hidráulicas, Dirección del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, Comisión Nacional de Riego, Comité Oceanográfico Nacional, Museo de Historia Natural y CONICYT.

Tabla 1: Un acercamiento a los Organismos públicos y su vinculación con el recurso Humedal en Chile.

Entidad Pública	Función vinculada	Cuerpos Normativos Asociados	Programas institucionales con potencial impacto sobre el recurso humedal
Ministerio del medio Ambiente (coordinador)	Velar por el cumplimiento de la Ley de Bases del Medio Ambiente y su Reglamento y ser órgano de consulta, análisis, comunicación y coordinación en materias ambientales.	<ul style="list-style-type: none"> • Ley 19300 y sus modificaciones expresadas por la Ley 20.417. • Reglamento Ley 19300 • Normas Secundarias de Calidad de Aguas. • SEIA • Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales • Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Racional de los Humedales en Chile 	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de Acción País de la Estrategia Nacional de Biodiversidad. • Convención de Biodiversidad • Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas. • Plan de Acción Nacional de Cambio Climático • Proyecto GEF Marino en Chile :Áreas Marinas y Costeras Protegidas AMCP • Proyecto GEF SNAP Sistema Nacional Integrado de Áreas Protegidas para Chile • Punto Focal CBD Conservación de la biodiversidad del convenio internacional de conservación de la diversidad biológica. • Punto de contacto para la Estrategia Regional de Humedales Alto Andinos • Punto focal de la Secretaría Ramsar
CONAF (Secretaría Técnica), Ministerio de Agricultura	Contribuir al desarrollo del país a través de la conservación del patrimonio silvestre y el uso sostenible de los ecosistemas forestales	<ul style="list-style-type: none"> • Ley de Bosque Nativo • Reglamentos del DL 701, sobre fomento forestal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos y Aguas • Plan Integral de Gestión Ambiental del Humedal del Río Cruces
Ministerio de Relaciones Exteriores	Velar por el cumplimiento de los compromisos ambientales internacionales y Administrar y coordinar iniciativas ambientales en torno a ellos.	<ul style="list-style-type: none"> • Decreto 771 que promulga Convención Ramsar de 1981 	<ul style="list-style-type: none"> • Convención Bonn • Convención CITES • Convención de Biodiversidad • Convención de Washington

Entidad Pública	Función vinculada	Cuerpos Normativos Asociados	Programas institucionales con potencial impacto sobre el recurso humedal
Ministerio de Minería	Diseñar, difundir y fomentar políticas mineras de nuestro país, que incorporen la sustentabilidad y la innovación tecnológica, a fin de maximizar el aporte sectorial al desarrollo económico, ambiental y social del país".	<ul style="list-style-type: none"> •DS N° 414 Política de Producción Limpia del Gobierno de Chile. •Código de Minería 	<ul style="list-style-type: none"> •Acuerdos de producción limpia. •Exploración. •Autorización de explotación de turberas (ecosistemas de humedales). •Impacto sobre glaciares en etapas de exploración y operación.
Ministerio de Bienes Nacionales	Adquisición, administración y disposición de bienes fiscales para conservación, investigación científica y turismo de la naturaleza..	<ul style="list-style-type: none"> •<i>En proceso(Julio 2010): Política para impulsar turismo y conservación en áreas protegidas</i> •DL 1939/77 	<ul style="list-style-type: none"> •Sendero de Chile: Rutas Patrimoniales, Proyecto Río Olivares •Bienes Nacionales protegidos
Subsecretaría para las FFAA	<p>Administrar los bienes nacionales de uso público y bienes fiscales constituidos por fondos de mar, porciones de agua, playas y terrenos de playa ubicados en la costa del litoral y en los ríos y lagos navegables por buques de más de 100 toneladas</p> <p>Implementar y difundir la Política Nacional de uso del Borde Costero</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Política Nacional de Borde Costero. 	<ul style="list-style-type: none"> •Proyecto Red de Información y Datos del Pacífico Sur para el Apoyo a la Gestión Integrada del Área Costera (SPINCAM)²⁷. •Política Nacional de uso del Borde Costero

²⁷ Southeast Pacific data and information Network in support to Integrated Coastal Area Management

El Proyecto pretende establecer un **marco de Indicadores** en Gestión Integrada de la Zona Costera en los países del Sudeste Pacífico (Chile, Colombia, Ecuador, Panamá y Perú), enfocándose en los aspectos medioambientales y socio-económicos dentro del contexto del desarrollo sostenible y la gestión integrada del área costera. La Subsecretaría de Marina y su Oficina de Borde Costero conducen la implementación, en el marco de un Acuerdo de cooperación con la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), UNESCO y Gobierno Flamenco de Bélgica.

Entidad Pública	Función vinculada	Cuerpos Normativos Asociados	Programas institucionales con potencial impacto sobre el recurso humedal
	<p>Definir nomina oficial de Ríos y Lagos navegables por buques de más de 100 toneladas que quedan bajo su jurisdicción.</p> <p>Ser parte activa del proceso de concesiones marítimas a través del Sistema Integrado de Administración del Borde Costero</p>		
<p>Subsecretaría de Pesca - Min. Economía y Fomento y Turismo</p>	<p>Proponer normas de protección, de control y de aprovechamiento racional de los recursos hidrobiológicos disponibles y de su medio;</p> <p>Adoptar medidas para evitar la introducción y propagación dentro del territorio nacional de enfermedades que afecten los recursos hidrobiológicos marinos y continentales y para combatir las existentes (Min. Economía en relación al Sector Pesquero).</p>	<p>Ley de Pesca Recreativa Ley Orgánica</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Fondo de Investigación Pesquera (FIP), destinado a financiar estudios necesarios para administración de las pesquerías y de las actividades de acuicultura., considerando la conservación de los recursos hidrobiológicos, en aspectos biológicos, pesqueros, económicos y sociales

Entidad Pública	Función vinculada	Cuerpos Normativos Asociados	Programas institucionales con potencial impacto sobre el recurso humedal
Servicio Nacional de Pesca – Min. Economía y Fomento y Reconstrucción	Ejecutar la política pesquera nacional y fiscalizar su cumplimiento y, en especial, velar por la debida aplicación de las normas legales y reglamentarias sobre pesca, caza marítima y demás formas de explotación de recursos hidrobiológicos.	Implementa Ley de Pesca Recreativa	<ul style="list-style-type: none"> • Programa de Vigilancia Ambiental • Acuicultura/Salmonicultura
Servicio Agrícola y Ganadero - MINAGRI	Contribuir al desarrollo e incremento de la salud animal y vegetal; la protección y conservación de los recursos naturales renovables que inciden en el ámbito de la producción agropecuaria del país y el control de insumos y productos agropecuarios sujetos a regulación en normas legales y reglamentarias.	<ul style="list-style-type: none"> • Ley 19.473 Ley de Caza y Protección de Vida Silvestre • Ley 20.412 Sistema de incentivos para la sustentabilidad agroambiental de suelos agropecuarios 	Autorización a Programas de Riego
MOP	Planeamiento, estudio, proyección, construcción, ampliación, reparación, conservación y explotación de las obras públicas fiscales de su tuición, tales como caminos, autopistas, puentes, túneles, aeropuertos, aeródromos, rampas, embalses de riego, defensas		Desarrollo de obras civiles y portuarias

Entidad Pública	Función vinculada	Cuerpos Normativos Asociados	Programas institucionales con potencial impacto sobre el recurso humedal
	<p>fluviales, colectores de agua lluvia, agua potable rural, obras de edificación pública nuevas, borde costero, entre otras.</p> <p>Responsable de la aplicación de la Ley de Concesiones y del Código de Aguas.</p>		
Dirección General de Aguas - MOP	Promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente: planificar el desarrollo del recurso hídrico en las fuentes naturales, investigar y medir el recurso.	<ul style="list-style-type: none"> • Normas Secundarias de Calidad de Aguas. • Código de Aguas • Política Nacional de Recursos Hídricos 	<ul style="list-style-type: none"> • Programas de monitoreo del recurso hídrico en ríos y lagos con estaciones
Dirección de Obras Hidráulicas - MOP	Proyectar, construir, conservar, operar y colaborar en la planificación de Obras Hidráulicas que permitan el óptimo aprovechamiento y control del agua, la protección del territorio y las personas		<ul style="list-style-type: none"> • Planes maestros de manejo de cauce • Obras de defensa y protección de riberas • Construcción de embalses
Dirección del Territorio Marítimo y de Marina Mercante – Min. De Defensa Nacional	Cautelar el cumplimiento de las leyes y acuerdos internacionales vigentes para proteger la vida humana en el mar, el medio ambiente y los recursos naturales y regular las actividades que se generan		SHOA. Monitoreo de cuerpos de agua marina

Entidad Pública	Función vinculada	Cuerpos Normativos Asociados	Programas institucionales con potencial impacto sobre el recurso humedal
	<p>en el ámbito acuático de su jurisdicción.</p> <p>Ser parte activa del proceso de concesiones marítimas a través del Sistema Integrado de Administración del Borde Costero</p>		
Comisión Nacional de Riego	Coordinar los esfuerzos y supervisar las inversiones en riego en el país.	<ul style="list-style-type: none"> •Política Nacional de Riego y Drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> •Certificación de la CNR en Gestión Territorial²⁸ por el Programa SUBDERE de Certificación de Mejoramiento de la Gestión, el cual tiene como objetivo incorporar en los productos, bienes y servicios que entregan las instituciones la perspectiva territorial, por lo tanto lo que se espera es que los servicios públicos operen con procesos integrados territorialmente que promuevan e incorporen las necesidades regionales y sus soluciones en la entrega de sus productos.
Comité Oceanográfico Nacional	Coordinar a las instituciones que efectúan investigación y actividades relacionadas con las Ciencias del Mar en Chile	Decreto Supremo Nro. 814 Reglamento interno del CONA	<ul style="list-style-type: none"> •Plan Nacional de Floraciones Algales - Nocivas, •Investigaciones regulares de biodiversidad acuática. •Investigaciones regulares en contaminación del medio Ambiente Acuático.

²⁸ Uno de los compromisos específicos de la CNR fue “Entregar una oferta de productos CNR en forma articulada con las necesidades de los actores del territorio y con las intervenciones de otras instituciones públicas”, dentro de sus logros exponen “la complementariedad con otras instituciones públicas es clave para el desarrollo de proyectos y estudios, es clave para evitar la duplicidad de iniciativas y para el desarrollo de iniciativas validadas por diferentes servicios”

Entidad Pública	Función vinculada	Cuerpos Normativos Asociados	Programas institucionales con potencial impacto sobre el recurso humedal
			<ul style="list-style-type: none"> • Investigaciones regulares del fenómeno del Niño y variabilidad climática • Programa CIMAR (investigación en aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos)
Museo de Historia Natural	Recolectar, conservar, investigar y exhibir organismos y muestras representativas de la diversidad biológica y biocultural de Chile		<ul style="list-style-type: none"> • Divulgación Científica de investigaciones en las áreas de antropología, zoología, paleontología, mineralogía, entomología e hidrobiología, entre otras
CONICYT	Fomentar la formación de capital humano y fortalecer la base científica y tecnológica del país. Ambas funciones son potenciadas de manera transversal por un área de información científica y una de vinculación internacional.		<ul style="list-style-type: none"> • FONDEF • Programa de Cooperación Científica Internacional
Servicio de Salud del Ambiente	Fiscalizar el cumplimiento de la normativa sanitaria ambiental en las áreas de alimentos, aire, aguas, acústica, condición de seguridad de trabajadores, residuos domiciliarios e industriales, control y aplicación de plaguicidas, entre otros.	<ul style="list-style-type: none"> • Normas primarias de calidad del aire • Normas de calidad de las agua 	
Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Regula el uso del suelo de las áreas urbanas y de manera indicativa de las áreas rurales,	<ul style="list-style-type: none"> • Ley General de Urbanismo y Construcciones • Ordenanza General de 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo urbano inmobiliario • Áreas verdes, restauración y mejoramiento de espacios.

Entidad Pública	Función vinculada	Cuerpos Normativos Asociados	Programas institucionales con potencial impacto sobre el recurso humedal
	a través de la aprobación de los Instrumentos de Planificación Territorial a escala Regional, Intercomunal y Comunal.	Urbanismo y Construcciones • Instrumentos de Planificación Territorial. • Ley 18902 Crea Superintendencia de Servicios Sanitarios	

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes, documentos y leyes publicados por los sitios web oficiales de las Instituciones del Gobierno de Chile que componen el cuadro.



En general, la información de humedales en Chile es dispersa, no sistemática, diversa, y con una notable diferencia en los esfuerzos de investigación y caracterización realizados en las distintas regiones.

En la investigación desarrollada por CEA el año 2006, “Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca” (CONAMA-CEA, 2006), se identificaron una serie de iniciativas a nivel nacional en relación a los humedales, estudios que en su conjunto se configuran como los protagonistas en el estado del arte del conocimiento de los humedales en Chile, de los cuales se citan algunos.

Castro y colaboradores (1993, 2003) desarrollan un catastro donde registran 435 humedales ubicados sobre una altitud aproximada de 3000 msnm entre los 17° y 26° de latitud sur. El mismo autor, el año 1993, reconoce en una de sus publicaciones la importancia de los humedales en la vida de Atacameños y Aymaras, quienes además de utilizarlos como fuente en el consumo de peces, algas, canalización de aguas y forrajeo de ganado, manejaban un sistema de identificación de las especies que conformaban cada uno de estos hábitats.

En el año 1999 un equipo CONAMA-CONAF desarrolló un catastro que entrega como resultado un registro de aproximadamente 4,5 millones de hectáreas de humedales en el país, equivalentes al 6% del territorio de Chile. En este mismo estudio se establece que los humedales son el segundo uso más representado dentro del SNASPE, con un 24.8%, correspondiente principalmente a turberas ubicadas en las regiones XI y XII. Según este catastro, las regiones III, IV, V, VII y Metropolitana no contarían con humedales representados en el SNASPE.

Confirmando que en Chile existe gran variedad de humedales - lo que se vincula a la diversidad de bioclimas que expone Di Castri & Hajeck (1976)- en el año 2002, Ramírez y colaboradores elaboraron una propuesta para la clasificación de los humedales chilenos. Ellos reconocen 15 tipos de humedales naturales: 5 salinos (litorales, estuarios, marismas, albuferas y salares) y 10 dulceacuícolas: 4 de aguas corrientes (ríos, arroyos, bañados y oasis), 3 de aguas sin corriente (lagos, lagunas y charcos) y 3 asociados a anegamientos del suelo (pantanos, turberas y ñadis).

En 1996, el bofedal de Parinacota ubicado a una altura promedio de 4.300 msnm, fue ampliamente caracterizado por Muhlhauser en relación a su composición vegetativa y de fauna, así como de los principales factores geológicos que participan en su configuración.

En el año 2000, en la VII Región del Maule, se realiza el catastro de humedales mas completo que se haya desarrollado a nivel regional, (CONAMA, 2000). En este estudio se agrupa a los humedales del Maule en 6 “complejos” y se aplica una diferenciación entre los humedales de la zona costera, del interior, y altoandinos.

Haustein *et al.*, 2002, escriben acerca de los humedales en la IX Región haciendo una aproximación de ellos a la clasificación de Ramsar y definiendo características en torno a las especies de plantas y avifauna asociada a ellos. Complementariamente hacen un análisis de los niveles de vulnerabilidad asociados a las especies registradas.

En 2003, otra iniciativa emprendida por la Dirección General de Aguas, cartografió y elaboró un listado de 228 acuíferos que alimentan vegas y bofedales en la región de Antofagasta. En la actualidad se han incorporado a este catastro las de la Región de Arica y Parinacota y Atacama.

La Corporación de Ambientes Acuáticos de Chile (CAACH) desarrolla un catastro en el 2005 del sistema de humedales costeros en la IV Región de Coquimbo, reconociendo importantes aspectos de su flora y fauna como endemismo, especies nativas y grados de vulnerabilidad, así como los rasgos geomorfológicos que participan en su conformación y aspectos jurisdiccionales que afectan en su administración.

En la Región Metropolitana, Del Campo y colaboradores (2005) describen asociaciones vegetales en el humedal de Batuco y sus características químicas que determinan la presencia de las especies dominantes por sector. En el 2008, Mellado por su parte desarrolla una caracterización hídrica del humedal y analiza la gestión ambiental dentro en el marco de su tesis de Magister.

González & Victoriano en el 2005 identifican humedales en la VIII región del Biobío, definiendo su origen, caracterización de avifauna y variables ambientales asociadas a la dinámica de algunos humedales.

Rojas & Schlatter en el 2004 publican estudios acerca de las turberas y otros humedales reconocidos en el extremo sur de Chile.

Díaz *et al.* en 2005 publica acerca de la “turba magallánica”, características y distribución geográfica, complementando la contribución que hace Valenzuela-

En el parque nacional Torres del Paine, Clausen y colaboradores (2006) realizaron una clasificación para los humedales presentes en esta zona (los autores identifican mas de 300 humedales en la zona de estudio). Para esto, se basaron en datos de vegetación, calidad y profundidad del agua, tipo de sustrato e hidroperíodo. Se identifican cinco tipos de humedales en la zona, cuyos nombres son una mezcla entre la clasificación entregada por Ramsar y asociaciones florísticas.

El mismo estudio mencionado inicialmente, “Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca” (CONAMA-CEA, 2006), elabora una clasificación de humedales por Ecotipos basándose en la asociación de variables correlacionadas con la estructura y funcionamiento de familias de humedales.

En el 2007 CONAMA elabora un catastro preliminar de humedales costeros para las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Maule, Biobío y Araucanía.

CONAMA en el 2008 emprendió la trabajosa tarea de reunir parte de la información cartográfica de humedales existente en los diversos organismos públicos. En aquella oportunidad se sistematizaron, estandarizaron, identificaron y sintetizaron antecedentes de los humedales hasta ese momento reconocidos por una y otra de las entidades participantes, e incorporados a una plataforma SIG (Sistema de Información Geográfico) para su manejo y más fácil acceso. El resultado permitió definir un incipiente catastro nacional de humedales que permite contar con su localización aproximada y sin poder definir área de cobertura.

Otro trabajo bastante reciente corresponde al de Ahumada y Faúndez (2009). Por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero estos autores desarrollaron una guía descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica. El fin último de esta investigación fue generar una herramienta de gestión para proteger este recurso extremadamente escaso y de gran importancia en la conservación de la biodiversidad.

Y uno de los últimos trabajos en torno al recurso agua, es el realizado por la Universidad de Chile por encargo de CONAMA y corresponde al estudio “Clasificación de cuerpos de agua” (2010), como apoyo a la norma secundaria de calidad de agua. Basado en bioindicadores, establece una adaptación de la propuesta “Directiva Marco de Aguas” desarrollado por el parlamento Europeo.

En definitiva, como estos ejemplos hay otros, muchas veces de menor escala y amplitud geográfica, pero que en su conjunto conforman el universo de iniciativas que han permitido generar un valiosísimo conocimiento acerca de nuestros humedales en Chile y ciertas herramientas para su protección. Sin embargo son también los protagonistas de una estructura desorganizada y aislada de datos, con falta de normalización en la información y disgregados en las diferentes instituciones públicas.

Los enormes esfuerzos que se han desarrollado hasta ahora para articular a los actores claves en la conservación de los humedales por el Comité Nacional de Humedales, apoyado por herramientas como La Estrategia Nacional de Humedales y su Plan de Acción, sin embargo aún está pendiente contar con un sistema de datos centralizado que permita implementar una real gestión integrada de humedales y su eficaz conservación, considerando la amplia gama de objetivos de gestión sectorial. En este contexto es que se determinó la urgencia de contar con un Inventario Nacional de Humedales para lo cual, y como primer paso fundamental CONAMA, durante el 2007 comienza a trabajar un sistema de clasificación para los Humedales de Chile basado en la definición de Ecotipos, los cuales permiten definir -en una primera instancia de reconocimiento y en reducido margen de tiempo- funciones y amenazas que evaluadas en una perspectiva ecosistémica, pueden identificar sitios de prioridad para la conservación. (ver Estudio “*Protección y manejo sustentable de Humedales integrados a la cuenca hidrográfica*”, CONAMA2007).



Anexo 3

Cuadros resumen clasificación Ecotipos

Cuadro A 1.1. Relación entre procesos y atributos ecosistémicos de los humedales

PROCESOS	Estabilidad temporal	Calidad agua	Estructura	Funcionamiento
Intrusión salina	Ecosistemas permanentes, alimentados por aportes dulceacuícolas y marinos	Cambio de la calidad del agua en función del balance hídrico, desde aguas salinas a dulceacuícolas. Estado trófico depende del balance hídrico	Gradiente espacial desde comunidades dulceacuícolas a marinas	Producción primaria planctónica en ambiente salino y por vegetación terrestre hidrófila y acuática en ambiente dulceacuícola
Evaporación	Cuerpos de agua de bajo volumen o caudal en zonas áridas, pueden ser temporales durante periodo de mayor evaporación	Aumento de la salinidad	Transformación de los componentes abióticos y bióticos, desde ecosistemas dulceacuícolas a salinos	Transformación de procesos basados en producción columna de agua a sedimentos (umbral salinidad 13 g/l)
Infiltración	Áreas con precipitaciones concentradas en el tiempo, pueden resultar en ecosistemas temporales cuando la permeabilidad del suelo es alta	Aumento contenido materia orgánica y demanda de oxígeno durante fase infiltración	Comunidades planctónicas en fase inundación. Comunidad de vegetación hidrófila en fase infiltración dominio (ej. ciperaceas)	Producción primaria planctónica en fase inundación. Producción primaria por vegetación azonal en fase infiltración.
Escorrentía	Ecosistemas permanentes con variaciones hidrométricas, en función del régimen de recarga de la cuenca (pulsos de inundación)	Cambio de la concentración de sólidos suspendidos y disueltos en función del hidrograma	Comunidades bentónicas	Degradación de materia orgánica alóctona
Afloramiento aguas subterráneas	Ecosistemas permanentes	Cambio de la concentración de sólidos disueltos por aumento evaporación o disminución temperatura	Comunidades plantas acuáticas y vegetación hidrófila	Producción primaria autóctona por plantas acuáticas y vegetación hidrófila
Producción ácidos orgánicos	Ecosistemas permanentes por escurrimientos superficial y subsuperficial desde cuenca de avenamiento	Agua con baja transparencia por presencia de ácidos orgánicos (color té)	Comunidad planctónica y vegetación acuática	Producción primaria por microalgas planctónicas y plantas acuáticas
Isoterma 0 °C	Ecosistemas temporales por congelamiento aguas superficiales	Disminución de la concentración de sólidos suspendidos (STS), en periodos de baja temperatura. En periodo de alta temperatura, aumento de STS	Desarrollo microalgas y fauna bentónica, durante fase con bajo contenido STS (fase clara). Durante fase con alto contenido de STS, dominio fauna bentónica (fase turbia)	Producción primaria autóctona por plantas acuáticas, en fase clara. Degradación materia orgánica particulada en fase oscura

Fuente: "Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica" (CONAMA-CEA, 2007).

Cuadro A 1.2. Descripción estructura y funcionamiento de ecotipos costeros en función de la morfología del cuerpo de agua.

Ecotipo	Humedal costero	Humedal costero	Humedal costero
Clase	Intrusión salina	Intrusión salina	Intrusión salina
Tipo	Cubeta	Canal	Plano
Atributos			
Estructura			
abiótica	Matriz acuosa con presencia de agua dulce y agua de mar. Contenido de nutrientes y sales disueltas elevado y baja concentración oxígeno disuelto en estrato profundo. Matriz sedimentaria con alto contenido materia orgánica y potencial redox negativo (sedimento negro).	Matriz acuosa con presencia de agua dulce y agua de mar (periódicamente en función de mareas). Contenido de nutrientes y sales disueltas elevado y baja concentración oxígeno disuelto en estrato profundo. Matriz sedimentaria con alto contenido materia orgánica y potencial redox positivo (sedimento café).	Sustrato saturado con alto contenido de sales. Bajo contenido de oxígeno disuelto. Matriz sedimentaria con alto contenido de materia orgánica
biótica	Plantas acuáticas halófitas y dulceacuícolas. Flora y fauna planctónica. Peces dulceacuícolas y marinos. Vegetación terrestre hidrófila, si existe criptodepresión se reemplaza por vegetación de tipo halófitas.	Plantas acuáticas halófitas y dulceacuícolas. Tapetes microbianos. Fauna bentónica (ej. camarones). Peces dulceacuícolas y marinos. Vegetación terrestre hidrófila, si existe criptodepresión se reemplaza por vegetación de tipo halófitas.	Vegetación terrestre hálofita. Tapetes microbianos.
Componente sensible	Vegetación terrestre hidrófila- plantas acuáticas dulceacuícolas.	Vegetación terrestre hidrófila	Vegetación terrestre hálofita
Funcionamiento			
interacción dominante	Caudal agua dulce- vegetación hidrófila, caudal marino - plantas acuáticas halófitas	Caudal agua dulce- vegetación hidrófila, caudal marino -tapetes microbianos.	Caudal marino-plantas terrestres halófitas
proceso dominante	Producción primaria plantas acuáticas halófitas y plantas terrestres hidrófilas. Producción secundaria invertebrados y peces	Producción primaria tapetes microbianos. Producción secundaria invertebrados	Producción primaria plantas halófitas
proceso sensible	Conectividad hídrica del humedal con el mar (barra terminal) y caudal agua dulce (superficial y subsuperficial). Migración de peces.	Caudal agua dulce Migración de peces.	Caudal marino
Ejemplos	Lagunas costeras como Budi, Conchalí, Carrizal	Desembocadura de rios como Bío Bío, Mataquito, Aconcagua	Salinas y zonas inundadas por mareas donde no existe depresión en el terreno

Fuente: "Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica" (CONAMA-CEA, 2007).

Cuadro A 1.3. Descripción estructura y funcionamiento de ecotipos continental (clase evaporación) en función de la morfología del cuerpo de agua.

Ecotipo	Humedal continental	Humedal continental	Humedal continental
Clase	Evaporación	Evaporación	Evaporación
Tipo	Cubeta	Canal	Plano
Atributos			
Estructura			
abiótica	Matriz acuosa alto contenido especies orgánicas y especies inorgánicas. Matriz sedimentaria alto contenido materia orgánica autóctona.	Matriz acuosa bajo contenido especies orgánicas e inorgánicas. Matriz sedimentaria bajo contenido materia orgánica autóctona y alto contenido vegetación alóctona.	Sustrato a con alto contenido de sales.
biótica	Tapetes microbianos Flora y Fauna planctónica Fauna macroinvertebrados bentónicos. Vegetación terrestre del tipo halófitas.	Plantas acuáticas (macrófitas). Tapetes microbianos (sal > 13 g/l). Fauna bentónica . Peces bentófagos (ej. Bagres. Orestias) Vegetación terrestre hidrófila (ciperáceas, totoras, bofedales, vegas).	Tapetes microbianos. Vegetación terrestre halófitas.
componente sensible	Tapetes microbianos – vegetación terrestre	Vegetación terrestre hidrófila	Vegetación terrestre halófitas
Funcionamiento			
interacción dominante	Recurso hídrico superficial-tapetes-avifauna (ej. flamencos).	Recurso hídrico superficial-vegetación hidrófila- pastoreo fauna terrestre	Recurso hídrico superficial-vegetación terrestre hidrófila
proceso dominante	Producción primaria tapetes microbianos – producción secundaria avifauna	Producción primaria vegetación hidrófila	Producción primaria vegetación terrestre halófitas
proceso sensible	Caudal agua dulce	Nivel freático	Nivel freático
Ejemplos	Laguna terminal Jachucoposa, Huasco, Barros Negros.	Canales alimentados por surgencias, como vertientes de Jachucoposa, Huasco norte. Incluye las lagunas asociadas directamente a las vertientes.	Tapetes y vegetación inundada por afloramientos difusos donde no existe depresión en el terreno

Fuente: “Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica” (CONAMA-CEA, 2007).

Cuadro A 1.4. Descripción estructura y funcionamiento de ecotipos continental (clase escorrentía) en función de la morfología del cuerpo de agua.

Ecotipo	Humedal continental	Humedal continental	Humedal continental
Clase	Escorrentía	Escorrentía	Escorrentía
Tipo	Cubeta	Canal	Plano
Atributos			
Estructura			
abiótica	Matriz acuosa bajo contenido sólidos totales disueltos (STD) y sólidos totales suspendidos (STS). Bajo contenido nutrientes y alto contenido oxígeno. Matriz sedimentaria con sedimentos finos y materia orgánica particulada fina.	Matriz acuosa bajo contenido STD y STS. Bajo contenido nutrientes y alto contenido oxígeno. Matriz sedimentaria con arenas, gravas, clastos de mayor tamaño y materia orgánica particulada gruesa (MOPG). Presencia pulso de inundación.	Sustrato saturado o no saturado temporalmente, con mezcla de materia orgánica particulada (fina y gruesa) y partículas inorgánicas de granulometría fina.
biótica	Flora y fauna planctónica Plantas acuáticas hidrófilas Peces planctófagos-ictiófagos Vegetación terrestre hidrófila	Microalgas filamentosas Tapetes microbianos (perifiton) Plantas acuáticas Fauna bentónica Peces bentófagos-ictiófagos Vegetación terrestre hidrófila	Briófitas. Fauna invertebrados y microorganismos.
componente sensible	Fitoplancton	Contenido materia orgánica particulada gruesa (MOPG) proveniente vegetación terrestre nativa. Tapetes microbianos. Peces	Briófitas
Funcionamiento			
interacción dominante	Nutrientes-fitoplancton	Caudal recurso hídrico superficial-tapetes microbianos-MOPG	Sustrato - briófitas
proceso dominante	Producción primaria fitoplancton	Degradación MOPG	Degradación sustrato
proceso sensible	Tiempo residencia-nutrientes-fitoplancton	Caudal recurso hídrico superficial	Estabilidad física sustrato
Ejemplos	Lago Villarrica, Todos los Santos, Pirihueico	Río Aconcagua, Teno, Laja, Bío Bío. Ríos que drenan de cordillera Nahuelbuta	Briófitas alimentadas por afloramientos difusos donde no existe depresión en el terreno

Fuente: "Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica" (CONAMA-CEA, 2007).

Cuadro A 1.5. Descripción estructura y funcionamiento de ecotipos continental (clase infiltración, A) en función de la morfología del cuerpo de agua.

Ecotipo	Humedal continental	Humedal continental	Humedal continental
Clase	Infiltración A	Infiltración A	Infiltración A
Tipo	Cubeta	Canal	Plano
Atributos			
Estructura			
abiótica	Matriz acuosa bajo contenido STD y STS. Bajo contenido nutrientes y alto contenido oxígeno. Matriz sedimentaria con sedimentos finos y materia orgánica particulada fina.	Matriz acuosa bajo contenido STD y STS. Bajo contenido nutrientes y alto contenido oxígeno. Matriz sedimentaria con arenas, gravas y materia orgánica particulada gruesa.	Sustrato saturado o no saturado temporalmente con mezcla de materia orgánica particulada (fina y gruesa) y partículas inorgánicas de granulometría fina.
biótica	Microalgas filamentosas Flora y fauna planctónica Vegetación terrestre hidrófila	Tapetes microbianos (perifiton) Plantas acuáticas Vegetación terrestre hidrófila Fauna bentónica Peces bentófagos	Vegetación terrestre hidrófila.
componente sensible	Vegetación terrestre hidrófila	Tapetes microbianos Contenido materia orgánica particulada gruesa (MOPG) Peces bentófagos	Vegetación terrestre hidrófila
Funcionamiento			
interacción dominante	Nivel freático- vegetación terrestre hidrófila	Nivel freático-tapetes microbianos- MOPG	Nivel freático- vegetación terrestre hidrófila
proceso dominante	Producción primaria vegetación terrestre hidrófila	Degradación MOPG	Producción primaria vegetación terrestre hidrófila
proceso sensible	Nivel freático	Nivel freático	Nivel freático
Ejemplos	Hualves	Canales de desagüe de Hualves	Suelos saturados en zonas intercuencas

Fuente: "Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica" (CONAMA-CEA, 2007).

Cuadro A 1..6. Descripción estructura y funcionamiento de ecotipos continental (clase infiltración saturado, B) en función de la morfología del cuerpo de agua.

Ecotipo	Humedal continental	Humedal continental	Humedal continental
Clase	Infiltración B	Infiltración B	Infiltración B
Tipo	Cubeta	Canal	Plano
Atributos			
Estructura			
abiótica	Matriz acuosa bajo contenido STD y STS. Alto contenido nutrientes y bajo contenido oxígeno en los estratos más profundos. Matriz sedimentaria predominantemente orgánica, con diferentes grados de descomposición.	Matriz acuosa bajo contenido STD y STS. Alto contenido nutrientes y alto contenido oxígeno. Matriz sedimentaria predominantemente orgánica, con diferentes grados de descomposición.	Sustrato saturado o no saturado temporalmente con mezcla de materia orgánica y partículas inorgánicas de granulometría fina.
biótica	Plantas acuáticas Vegetación terrestre hidrófila	Microalgas filamentosas Plantas acuáticas emergentes Flora y fauna planctónica Fauna bentónica Vegetación terrestre hidrófila	Vegetación terrestre hidrófila
componente sensible	Plantas acuáticas	Plantas acuáticas	Vegetación terrestre hidrófila
Funcionamiento			
interacción dominante	Nivel freático-plantas acuáticas-pastoreo	Nivel freático-plantas acuáticas	Nivel freático - Vegetación terrestre hidrófila
proceso dominante	Producción primaria plantas acuáticas	Producción primaria plantas acuáticas	Producción primaria Vegetación terrestre hidrófila
proceso sensible	Nivel freático	Nivel freático	Nivel freático
Ejemplos	Mallín, turberas, pomponales	Canales de descarga de Mallín, turberas, pomponales	Vegetación inundada por afloramientos difusos donde no existe depresión en el terreno

Fuente: “Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica” (CONAMA-CEA, 2007).

Cuadro A 1..7. Descripción estructura y funcionamiento de ecotipos continentales (clase afloramientos subterráneos) en función de la morfología del cuerpo de agua.

Ecotipo	Humedal continental	Humedal continental	Humedal continental
Clase	Afloramientos subterráneos	Afloramientos subterráneos	Afloramientos subterráneos
Tipo	Cubeta	Canal	Plano
Atributos			
Estructura			
abiótica	Matriz acuosa bajo en contenido STD y STS. Bajo contenido nutrientes y alto contenido oxígeno. Nivel hídrico independiente de las precipitaciones. Matriz sedimentaria con sedimentos finos. Sedimentos anóxicos (sedimento negro).	Matriz acuosa alto contenido STD y bajo contenido STS. Bajo contenido nutrientes y alto contenido oxígeno. Matriz sedimentaria con arenas. Sedimentos aeróbicos (sedimento café)..	Sustrato saturado o no saturado temporalmente con mezcla de materia orgánica y partículas inorgánicas de granulometría fina.
biótica	Flora y fauna planctónica Peces planctófagos Vegetación terrestre hidrófila	Plantas acuáticas (sumergidas y emergentes) Fauna bentónica Peces bentófagos Vegetación terrestre hidrófila	Vegetación terrestre hidrófila
componente sensible	Plantas acuáticas	Plantas acuáticas	Vegetación terrestre hidrófila
Funcionamiento			
interacción dominante	Nutrientes-plantas acuáticas	Caudal-plantas acuáticas	Nivel freático - vegetación terrestre hidrófila
proceso dominante	Producción primaria plantas acuáticas	Producción primaria plantas acuáticas	Producción primaria vegetación terrestre hidrófila
proceso sensible	Carga de nutrientes -plantas acuáticas	Caudal (velocidad) -plantas acuáticas	Nivel freático
Ejemplos			Vegetación inundada por afloramientos difusos donde no existe depresión en el terreno

Fuente: "Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica" (CONAMA-CEA, 2007).

Cuadro A 1.8. Descripción estructura y funcionamiento de ecotipos continental (clase ácidos orgánicos) en función de la morfología del cuerpo de agua.

Ecotipo	Humedal continental	Humedal continental	Humedal continental
Clase	Ácidos orgánicos	Ácidos orgánicos	Ácidos orgánicos
Tipo	Cubeta	Canal	Plano
Atributos			
Estructura			
abiótica	Matriz acuosa bajo contenido STD y STS. Alto contenido nutrientes y contenido oxígeno. Presencia de ácidos húmicos y fúlvicos (coloración color té), con baja transparencia. Baja velocidad de escurrimiento. No recibe alimentación hídrica de glaciares. Matriz sedimentaria rica en materia orgánica	Matriz acuosa bajo contenido STD y STS. Alto contenido nutrientes y contenido oxígeno. Presencia de ácidos húmicos y fúlvicos (coloración color té), con baja transparencia Matriz sedimentaria rica en materia orgánica	Sustrato saturado o no saturado temporalmente con mezcla de materia orgánica y partículas inorgánicas de granulometría fina.
biótica	Plantas acuáticas Flora y fauna planctónica	Plantas acuáticas	Vegetación terrestre arbórea
componente sensible	Plantas acuáticas	Plantas acuáticas	
Funcionamiento			
interacción dominante	Escorrentía -vegetación arbórea	Escorrentía -vegetación arbórea	Nivel freático-vegetación arbórea
proceso dominante	Escorrentía - vegetación arbórea	Escorrentía - vegetación arbórea	Degradación sustrato orgánico
proceso sensible	Cobertura vegetación nativa	Cobertura vegetación nativa	Estabilidad física sustrato orgánico
Ejemplos	Ñadis, tepuales	Canales de desagüe de Ñadis y tepuales	Vegetación inundada por escorrentía donde no existe depresión en el terreno

Fuente: "Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica" (CONAMA-CEA, 2007).

Cuadro A 1.9 Descripción estructura y funcionamiento de ecotipos continental (clase Isoterma 0 °C) en función de la morfología del cuerpo de agua.

Ecotipo	Humedal continental	Humedal continental	Humedal continental
Clase	Isoterma 0 °C	Isoterma 0 °C	Isoterma 0 °C
Tipo	Cubeta	Canal	Plano
Atributos			
Estructura			
Abiótica	Matriz acuosa bajo contenido STD y alto STS. Bajo contenido nutrientes y alto contenido oxígeno. La dinámica de la matriz acuosa esta regulada por el régimen térmico. Matriz sedimentaria dominada por arenas y gravas. Presencia de materia orgánica particulada gruesa (MOPG).	Matriz acuosa bajo contenido STD y alto STS (temporalmente). Bajo contenido nutrientes y alto contenido oxígeno. La dinámica de la matriz acuosa esta regulada por las condiciones térmicas. Baja transparencia durante los periodos de deshielo. Matriz sedimentaria dominada por arenas, grava y clastos de mayor tamaño. Presencia de materia orgánica particulada gruesa (MOPG).	Sustrato saturado o no saturado temporalmente con mezcla de materia orgánica y partículas inorgánicas de granulometría fina. Sustrato se mantiene congelado durante invierno.
Biótica	Microalgas filamentosas Flora y fauna planctónica Peces planctófagos	Tapetes microbianos (perifiton) Microalgas filamentosas Fauna bentónica Peces bentófagos	Vegetación terrestre arbórea
componente sensible	Fauna planctónica-peces	Fauna bentónica-peces	Vegetación terrestre arbórea
Funcionamiento			
interacción dominante	Sedimentos finos– flora y fauna planctónica-peces	MOPG –fauna bentónica-peces	Caudal-vegetación arbórea terrestre
proceso dominante	Sedimentos finos- temperatura del agua-producción primaria planctónica	Descomposición MOPG	
proceso sensible	Carga sedimentos finos	Caudal-carga sedimentos finos	Caudal superficial
Ejemplos	Lago General Carrera, Meullín	Río Nef, río Colonia	Vegetación inundada por afloramientos difusos donde no existe depresión en el terreno

Fuente: “Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica” (CONAMA-CEA, 2007).

Cuadro A 1.10. Jerarquización de los bienes, servicios y valores principales de los humedales por clase y variedad de ecotipo.

Clases	Bienes	Servicios	Valores
Intrusión salina	Fuente de alimento y materias primas (e.g. peces, crustáceos y fibras)	Estabilización de la línea de costa.	Turístico, recreativo, educacional, científico, cultural.
Evaporación	Fuente de agua.	Recarga y descarga de acuíferos. Hábitat vida silvestre	Turístico, recreativo, educacional, científico, cultural.
Infiltración (A)	Fuente de agua Fuente de materias primas (turba)	Protección contra inundaciones. Sumideros de carbono Retención de nutrientes	Turístico, recreativo, educacional, científico, cultural.
Infiltración saturado (B)	Fuente de materias primas (turba)	Protección contra inundaciones. Sumideros de carbono. Retención de nutrientes	Turístico, recreativo, educacional, científico, cultural.
Escorrentía	Alimentos y materias primas (e.g. peces y fibras) Fuente de agua	Hábitat vida silvestre	Turístico, recreativo, educacional, científico, cultural.
Afloramientos subterráneos	Fuente de agua. Fuente de alimento y materias primas (forraje para ganado)	Retención de nutrientes	Turístico, recreativo, educacional, científico, cultural.
Ácidos orgánicos	Materias primas (e.g. árboles).	Sumideros de carbono. Mantenimiento de microclima	Turístico, recreativo, educacional, científico, cultural.
Isoterma O°C	Alimentos y materias primas (e.g. peces y fibras)	Protección contra inundaciones. Retención y sedimentación de nutrientes.	Turístico, recreativo, educacional, científico, cultural.

Fuente: "Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica" (CONAMA-CEA, 2007).

Cuadro A.1.11. Jerarquización de las amenazas en función de los ecotipos

Ecotipos	Amenazas		
	Físico	Químico	Biológico
Intrusión salina	Alteración dinámica barra terminal. Extracción y modificación de caudal agua superficial de tributarios (ej. camino costero). Quema vegetación ripariana	Actividad agrícola (fertilizantes, pesticidas). Descargar Riles con alta concentración nutrientes	Pastoreo. Depredadores domésticos alzados (gatos y perros)
Evaporación	Extracción agua subterránea y superficial. Quema vegetación.	Descargar Riles con alta concentración sales	Pastoreo
Infiltración (A)	Extracción agua superficial. Drenaje. Sedimentación. Deforestación	Descargar Riles con alta concentración nutrientes	Monocultivos. Pastoreo
Infiltración saturado (B)	Modificación tiempo residencia del agua. Sedimentación. Deforestación	Descargar Riles con alta concentración nutrientes. Descargar Riles con alta concentración sales	Extracción biomasa. Depredadores domésticos alzados (gatos y perros)
Escorrentía	Extracción agua superficial. Deforestación	Descargar Riles con alta concentración nutrientes	Deforestación vegetación ripariana
Afloramientos subterráneos	Extracción agua subterránea y superficial. Quema vegetación.	Descargar Riles con alta concentración sales. Descargar Riles con alta concentración sales. Actividad agrícola	Pastoreo. Introducción especies exóticas. Depredadores domésticos alzados (gatos y perros)
Ácidos orgánicos	Deforestación	Descargar Riles con alta concentración nutrientes	
Isoterma O°C	Modificación tiempo residencia del agua	Descargar Riles con alta concentración nutrientes	Introducción especies exóticas. Pastoreo

Fuente: “Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica” (CONAMA-CEA, 2007).

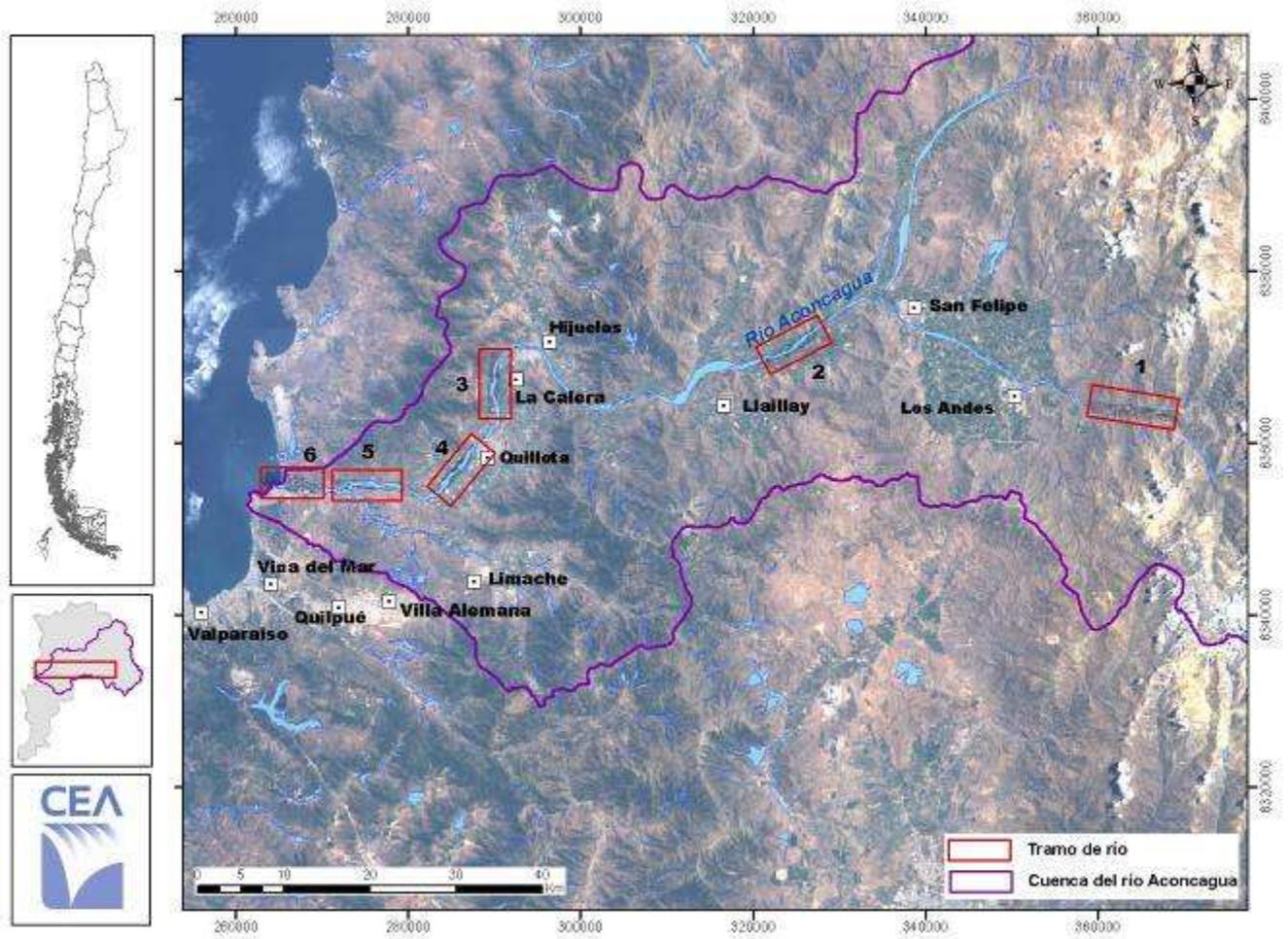


Anexo 4

Tramos de humedales pilotos en el río Aconcagua

Tramos de humedales pilotos en el río Aconcagua

Área de Estudio: ubicada en la Región de Valparaíso, en la cuenca del Aconcagua, específicamente en 6 tramos del río del mismo nombre.



TRAMO 1



TRAMO 2



TRAMO 3



TRAMO 4



TRAMO 5



TRAMO 6





Anexo 5

Caracterización limnológica del río Aconcagua



INFORME

CALIDAD DE AGUA CUENCA RÍO ACONCAGUA

NOVIEMBRE 2010

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Alcances Generales	4
3. Objetivos	4
4. Área de estudio	4
5. Metodología	6
5.1 Metodología de muestreo y análisis	6
5.2 Evaluación de los resultados de calidad de agua	6
6. Resultados	8
7. Conclusiones	13
8. Bibliografía	15

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Aconcagua se encuentra situada entre los paralelos 32° 20' y 33° 07' latitud sur, y entre los meridianos 71° 31' y 70° 0 0' longitud oeste. Tiene una superficie estimada de 7.337 Km² y geográficamente está inserta en su totalidad dentro de la Región de Valparaíso. El río Aconcagua nace por la confluencia de los ríos Juncal y Blanco, con el gran aporte andino proveniente del río Colorado, que recibe por su lado norte a poco más de 13 Km. aguas abajo. En su curso medio, el río Aconcagua recibe aportes de varios esteros de marcado régimen pluvial; por el lado norte, los esteros Catemu y Los Litres, mientras que por la ribera sur llegan los afluentes Lo Campo y Los Loros. En su curso inferior, luego de recibir los aportes del estero Rautén, su principal tributario corresponde al estero Limache, una subcuenca regulada por el embalse Los Aromos. Finalmente, y luego de un recorrido de aproximadamente 190 kilómetros desde su nacimiento, desemboca al Océano Pacífico, en la comuna de Concón.

Su régimen hidrológico es de alimentación mixta, o nivo-pluvial. En sus zonas alta y media el río Aconcagua es de régimen marcadamente nival, presentando un gran aumento de caudal en los meses de primavera producto de los deshielos cordilleranos. En la zona baja, el río Aconcagua posee un régimen pluvial, por lo cual presenta crecidas asociadas directamente con las precipitaciones. En su nacimiento después de la confluencia de los ríos Juncal y Blanco (1.420 m.s.n.m.), tiene las características de un río importante con un promedio anual de caudal natural de 20,5 m³/s. Entra al valle central en el sector del puente Las Vizcachas, con un promedio anual de caudal natural de 33,0 m³/s.

Los terrenos agrícolas se presentan prácticamente a lo largo de todo el valle del río Aconcagua. En el sector alto, las zonas agrícolas están presentes próximas al río Putaendo y Estero Pocuro; en el sector medio, próximas al Estero Los Loros y en el sector bajo de la cuenca, la superficie agrícola se presenta próxima al Estero Limache. El sector agrícola más extenso, corresponden a la provincia de Quillota, San Felipe de Aconcagua y Los Andes.

Las principales actividades económicas en la cuenca del río Aconcagua son agricultura, minería e industria. La actividad agrícola se desarrolla principalmente en los alrededores de las ciudades de San Felipe y Los Andes. Respecto a la actividad industrial, la minería metálica la más importante de la cuenca corresponde a la explotación de cobre fino en sectores de Los Andes y Catemu.

En cuanto a la distribución espacial de las localidades, éstas se encuentran próximas al principal cauce de la cuenca, el río Aconcagua.

2. ALCANCES GENERALES

El presente informe entrega los resultados de la campaña de monitoreo realizada en noviembre de 2010, en distintos sectores del río Aconcagua, la que incluyó el muestreo y posterior análisis del componente Calidad de Agua.

3. OBJETIVO

Entregar los resultados de la campaña de monitoreo de calidad de aguas realizada en distintos puntos del río Aconcagua, en el mes de noviembre de 2010.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El monitoreo de la Calidad de Agua incluyó la caracterización de 22 estaciones de muestreo. La campaña de monitoreo fue realizada los días 15,16 y 17 de noviembre de 2010. Los parámetros medidos se indican en la tabla 4.1. Las estaciones de monitoreo y sus respectivas coordenadas geográficas se indican en la tabla 4.2.

Tabla 4.1: Parámetros medidos en monitoreo de Noviembre 2010.

Parámetros
Coliformes fecales
Coliformes totales
Fósforo total
Nitrógeno orgánico total
Potencial Redox
Turbidez

Tabla 4.2: Estaciones de monitoreo calidad de agua. Noviembre 2010.

Estaciones	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
AC-01	367577	6363336
AC-02	367938	6362838
AC-03	361727	6363604
AC-04	366532	6363250
AC-05	325192	6371350
AC-06	323303	6370067
AC-07	316674	6369529
AC-08	316477	6369162
AC-09	290166	6368439
AC-10	290079	6367896
AC-11	289963	6366802
AC-17	285097	6356278
AC-18	284374	6355654
AC-19	284049	6354960
AC-20	277011	6355008
AC-21	275305	6355147
AC-22	272914	6355143
AC-23	270717	6354307
AC-26	265965	6355378
AC-27	265538	6355272
AC-28	265685	6354889
AC-30	271777	6354634

5. METODOLOGIA

5.1 Metodologías de muestreo y análisis

Las muestras de agua para análisis químico fueron obtenidas en frascos de polietileno de alta densidad, directamente desde los cursos de aguas. Las muestras fueron almacenadas en cajas térmicas aislantes y fueron transportadas al laboratorio.

Los métodos analíticos utilizados para cada parámetro se detallan a continuación:

- Turbiedad (NTU): Se utilizó el Procedimiento de Determinación de Turbidez, basado en el Manual de Empleo Turbiquant 1000IR y 1100IR, Merck y según Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater, 21st Edition, 2005. Método 2130 B.
- Potencial REDOX (mV): Se utilizó el método de acuerdo a Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005. Método 2580 B.
- Fósforo Total (P-total, $\mu\text{g/L}$): Se midió en muestras de agua sin filtrar transportadas al laboratorio. Los análisis se realizarán de acuerdo a lo que se indica en Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater, 21st Edition, 2005. Método 4500-P B y E
- Nitrógeno Orgánico Total (NOT, $\mu\text{g/L}$): Se midió en muestras de agua sin filtrar transportadas al laboratorio, previa digestión. El análisis se realizará mediante Test de N-NH₄, Spectroquant. Nova 60, Merck.
- Coliformes Totales y Fecales (NMP/100 ml): Se utilizó método indicado en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005. Método 9223 B.

5.2 Evaluación de los resultados de calidad de agua

La evaluación de los resultados se contrastaron frente a los valores establecidos por la NCh N° 1333 en lo referente a la calidad de agua para uso en riego y vida acuática.

Además, se consideró de forma referencial lo establecido en el anteproyecto de Norma Secundaria de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del río Aconcagua. Sin embargo sólo algunas estaciones están dentro del área de vigilancia establecidas por esta norma y corresponden a lo indicado en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Correspondencia Estaciones de muestreo con áreas de vigilancia según la NSCS de la Cuenca del río Aconcagua.

Estaciones	Área de vigilancia según NSCA Cuenca río Aconcagua
AC-01	CO-10
AC-02	AC-10
AC-03	AC-10
AC-04	AC-10
AC-05	AC-30
AC-06	AC-30
AC-07	AC-30
AC-08	AC-30

El estado trófico de los sistemas estudiados se evaluó en base a la cantidad de nutrientes y la respuesta en términos de la producción primaria, según Dodds et al., 1998 y Häekanson, 1994 (Tabla 5.2). Los estados tróficos: oligotrófico, mesotrófico y eutrófico corresponden a sistemas que reciben bajo, intermedio y altas entradas de nutrientes. Hipereutrófico es el término usado para los sistemas con entradas excesivas de nutrientes. NT, nitrógeno total; PT, fósforo total; Chl a, clorofila "a".

Tabla 5.2. Características medias de lagos (Nürnberg, 1996), ríos (Dodds et al., 1998), y agua marina costera (Haäkanson, 1994) de diferentes estados tróficos.

Sistema	Estado trófico	NT (µg/L)	PT (µg/L)	chl a (µg/L)
Lagos	Oligotrófico	<350	<10	<3,5
	Mesotrófico	350-650	10-30	3,5-9
	Eutrófico	650-1.200	30-100	9-25
	Hipereutrófico	>1.200	>100	>25
Ríos	Oligotrófico	<700	<25	<10
	Mesotrófico	700-1.500	25-75	10-30
	Eutrófico	>1.500	>75	>30
Marino	Oligotrófico	<260	<10	<1
	Mesotrófico	260-350	10-30	1-3
	Eutrófico	350-400	30-40	3-5
	Hipereutrófico	>400	>40	>5

6. RESULTADOS

Calidad de Agua

Los resultados respectivos se presentan en la **Tabla 6.1**.

Todos los parámetros medidos presentaron valores cuantificables. Los valores de Coliformes totales en algunas estaciones presentaron valores sobre el Límite de Detección.

-Nitrógeno Orgánico Total ($\mu\text{g/l}$): Según los valores registrados en el área de estudio, el valor mínimo se presentó en la estación AC-08, con un valor igual a 188,8 $\mu\text{g/l}$ y el valor máximo se presentó en la estación AC-09, con un valor igual a 787,5 $\mu\text{g/l}$. Calculándose de esta manera un valor promedio igual a 459,7 $\mu\text{g/l}$. Tanto la NCh N°1333 como el anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua el no hace referencia a este parámetro. (Figura 6.1)

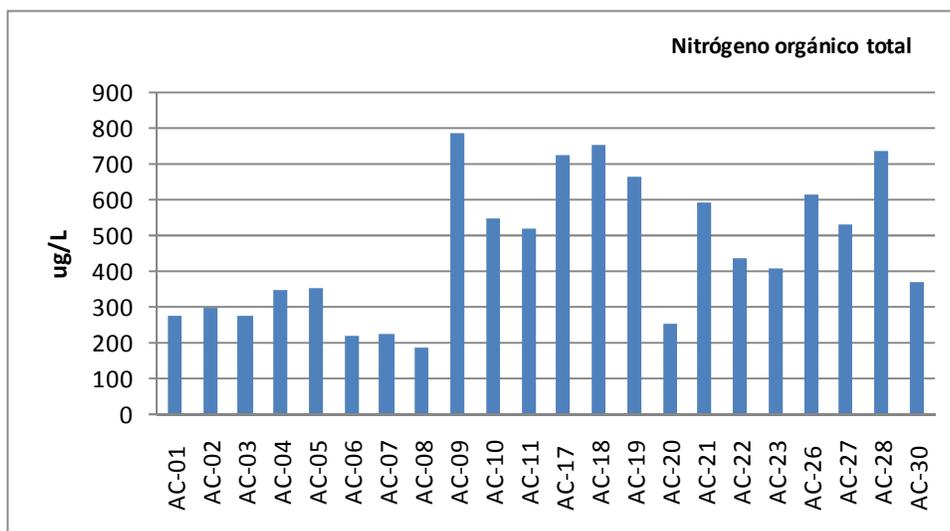


Figura 6.1: Gráfico Nitrógeno Orgánico total (ug/L)

-Fósforo Total ($\mu\text{g/l}$): Los valores registrados en esta campaña se presentaron heterogéneos, fluctuaron entre los 10,0 $\mu\text{g/l}$ en la estación AC-06, y 2130,0 $\mu\text{g/l}$ en la estación AC-17, presentando así una concentración promedio de 399,2 $\mu\text{g/l}$. Las estaciones AC-17, AC-18 y AC-19 fueron las que obtuvieron los mayores valores para este parámetro, estas estaciones se encuentran en un sector agrícola. Tanto la NCh N°1333 como el anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua no establecen límite de referencia. (Figura 6.2)

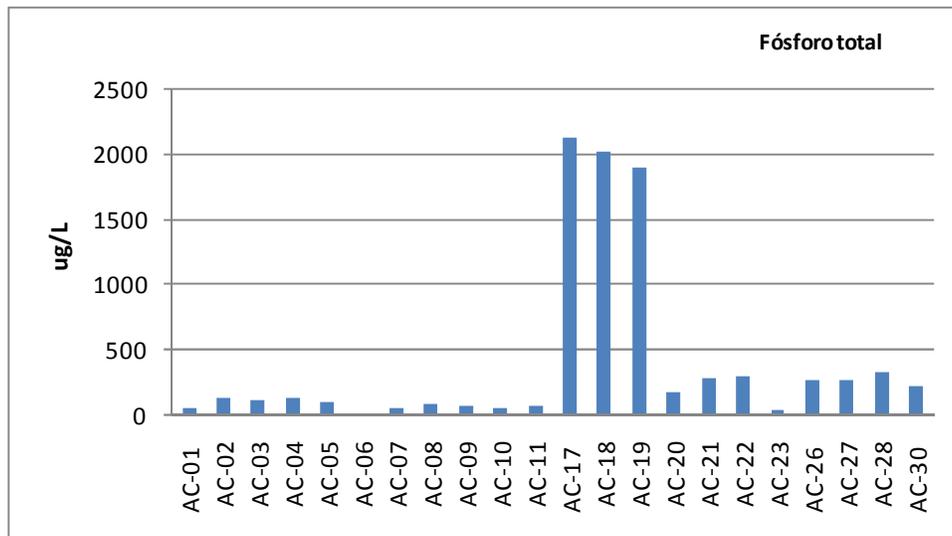


Figura 6.2: Gráfico Fósforo total (ug/L)

-Coliformes Fecales (NMP/100 ml): Las concentraciones de Coliformes Fecales presentaron un mínimo de 11 NMP/100ml, en la estación AC-04, mientras que el máximo fue de 2419.6 NMP/100ml, en la estación AC-09, calculando un valor promedio para el área de 497,0 NMP/100ml. Para este parámetro la NCh N° 1333, establece como límite máximo 1.000 NMP/100ml, el cual se ve superado en las estaciones AC-05, AC-07, AC-09 y AC-11; el anteproyecto de NSCA de la cuenca del río Aconcagua, para el área de vigilancia AC-30 entrega un valor de 256 NMP/100ml el que se encuentra sobrepasando en las estaciones AC-05 y AC-07, así mismo para el área de vigilancia AC-10 (15 NMP/100ml) las estaciones correspondientes a AC-02 y AC-03 también sobrepasan los valores del anteproyecto (141,4 y 81,6 NMP/100ml, respectivamente). Figura 6.3

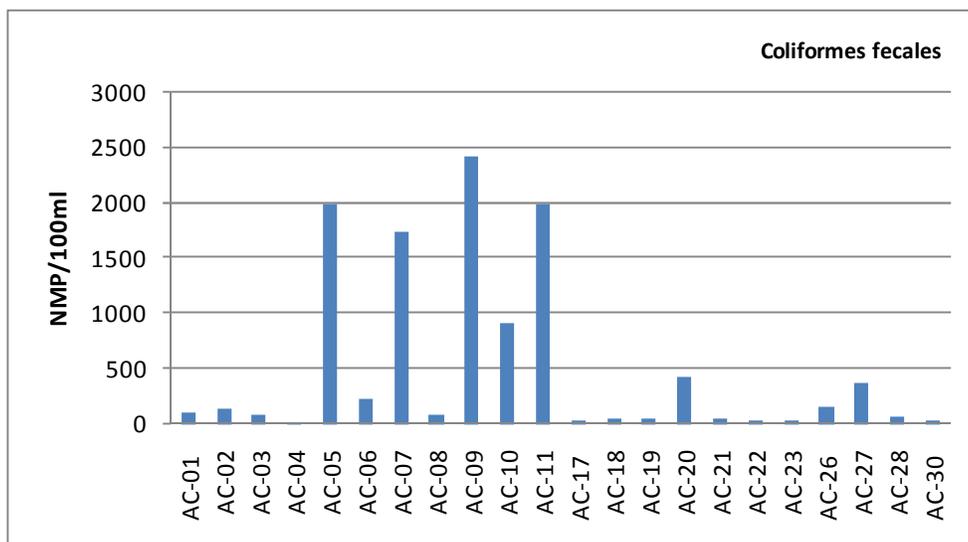


Figura 6.3: Gráfico Coliformes fecales (NMP/100ml)

-Coliformes Totales (NMP/100 ml): Se presentaron valores heterogéneos en el área de estudio, los cuales fluctuaron entre los 51,2 NMP/100ml en la estación AC-04 y un valor máximo de >2420 NMP/100ml, registrado en la mayor parte de las estaciones del río Aconcagua. Para este parámetro la NCh N°1333 no establece referencia, mientras que el anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua, para el tramo AC-10 (200 NMP/ml) sobrepasan las estaciones AC-02 y AC-03 con 307,6 NMP/ml y 1203,3 NMP/ml respectivamente, lo mismo ocurre con el tramo AC-30 en la que aparecen todas las estaciones sobrepasando el valor del anteproyecto (1271 NMP/100ml). Figura 6.4.

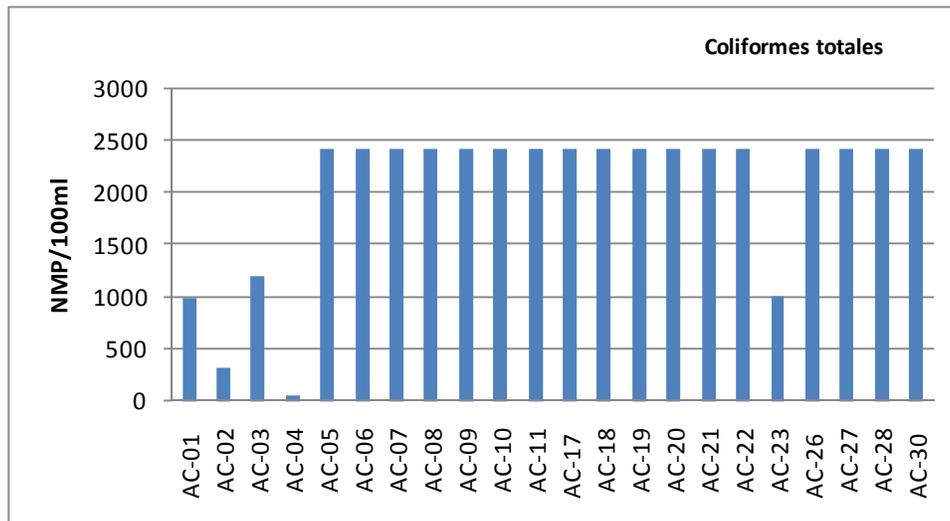


Figura 6.4: Gráfico Coliformes totales (NMP/100ml)

-Turbidez (NTU): La Turbidez presentó valores heterogéneos en la cuenca del río Aconcagua, los rangos fluctuaron desde 1,0 NTU en la estación AC-06 y 50,9 NTU en la estación AC-22 presentando un promedio de 17,3 NTU. Los valores más altos se produjeron en las estaciones AC-02, AC-03, AC-04, AC-21 y AC-22. Para este parámetro, la NCh N°1333 para uso en riego y vida acuática y la NSCA para la cuenca del río Aconcagua no establecen valoración regulatoria. (Figura 6.5).

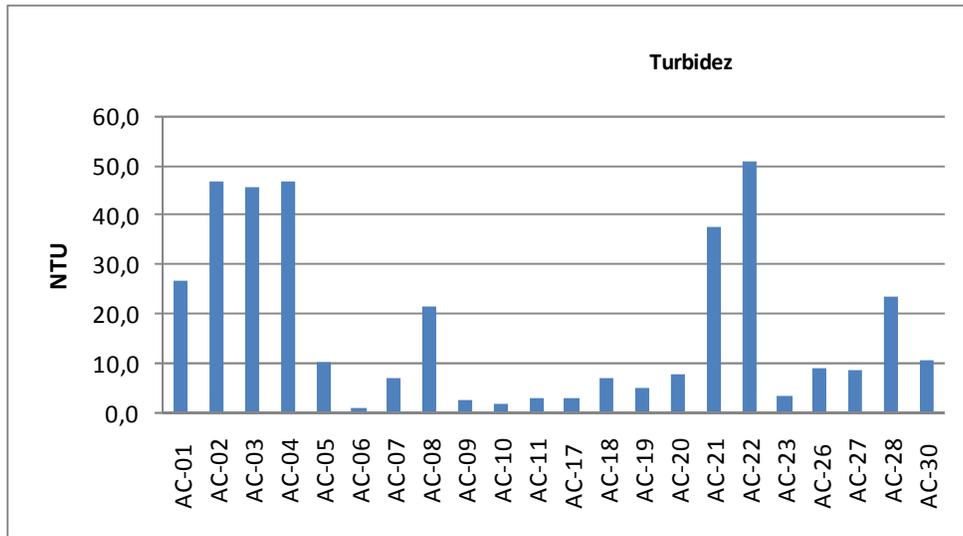


Figura 6.5: Gráfico Turbidez (NTU)

Potencial Rédox (mV): Se presentaron valores heterogéneos en la zona de estudio. La estación que presentó el mínimo -384,0 mV fue AC-30, mientras que el mayor valor se registró en la estación AC-04 con 224,0 mV, la que se encuentra aguas abajo la confluencia del río Colorado con el río Aconcagua. Tanto la NCh 1333, como la NSCA de la cuenca del río Aconcagua no establecen valoración regulatoria. (Figura 6.6).

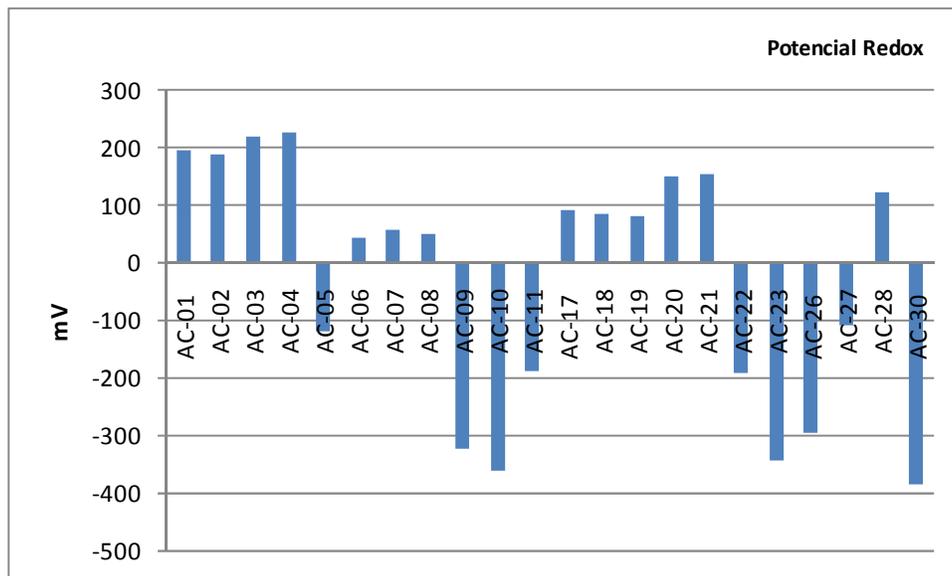


Figura 6.6: Gráfico Potencial Rédox (mV).

Tabla 6.1: Parámetros de Calidad de agua Monitoreados en cuenca del río Aconcagua. Noviembre 2010.

Estaciones	Coliformes fecales	Coliformes totales	Fósforo total	Nitrógeno orgánico total	Potencial Redox	Turbidez
	NMP/100ml	NMP/100ml	ug/L	ug/L	mV	NTU
AC-01	90,8	980,4	53,0	272,5	195,0	26,7
AC-02	141,4	307,6	132,0	295,0	187,0	46,6
AC-03	81,6	1203,3	110,0	275,0	220,0	45,5
AC-04	11,0	51,2	127,0	347,5	224,0	46,7
AC-05	1986,3	>2420	98,0	351,3	-118,0	10,3
AC-06	224,7	>2420	10,0	221,3	41,0	1,0
AC-07	1732,9	>2420	55,0	226,3	55,0	7,2
AC-08	72,8	>2420	82,0	188,8	49,0	21,6
AC-09	2419,6	>2420	74,0	787,5	-322,0	2,8
AC-10	913,9	>2420	49,5	548,1	-361,0	1,9
AC-11	1986,3	>2420	72,0	521,3	-187,0	3,0
AC-17	35,9	2419,6	2130,0	725,0	92,0	2,9
AC-18	48,0	>2420	2015,0	750,0	84,0	7,2
AC-19	40,2	>2420	1900,0	662,5	80,0	5,0
AC-20	416,0	2419,6	182,0	253,8	149,0	7,8
AC-21	45,7	>2420	276,0	591,3	152,0	37,6
AC-22	34,1	>2420	297,0	435,0	-193,0	50,9
AC-23	29,8	1011,2	36,0	410,0	-345,0	3,3
AC-26	156,2	>2420	260,0	613,8	-294,0	9,0
AC-27	365,4	>2420	262,0	530,0	-108,0	8,7
AC-28	71,7	>2420	333,0	737,5	121,0	23,5
AC-30	30,1	>2420	228,0	370,0	-384,0	10,6
Promedio	497,0	2031,5	399,2	459,7	-30,1	17,3
Mín	11,0	51,2	10,0	188,8	-384,0	1,0
Máx	2419,6	2420,0	2130,0	787,5	224,0	50,9

7. CONCLUSIONES

Con respecto a las Coliformes fecales, la concentración mayor (2420 NMP/ml) se encontró en la estación AC-09, ubicada aguas abajo de la ciudad de la Calera, las estaciones que le siguen AC-10 y AC-11 también presentan valores altos, así como también las estaciones AC-05 y AC-07. Para este parámetro la NCh N° 1333, establece como límite máximo 1.000 NMP/100ml, el cual se ve superado en las estaciones AC-05, AC-07, AC-09 y AC-11; el anteproyecto de NSCA de la cuenca del río Aconcagua, para el área de vigilancia AC-30 entrega un valor de 256 NMP/100ml el que se encuentra sobrepasando en las estaciones AC-05 y AC-07, así mismo para el área de vigilancia AC-10 (15 NMP/100ml) las estaciones correspondientes a AC-02 y AC-03 también sobrepasan los valores del anteproyecto (141,4 y 81,6 NMP/100ml, respectivamente).

Las Coliformes totales presentaron valores sobre el límite de detección (>2420 NMP/ml) en la mayoría de las estaciones, a excepción de la estación AC-04 con una concentración de 51,2 NMP/ml, ubicada aguas abajo del río Colorado, y la estación AC-02 ubicada aguas arriba del río Colorado, con una concentración de 307,6 NMP/ml. Para este parámetro la NCh N°1333 no establece referencia, mientras que el anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua, para el tramo AC-10 (200 NMP/ml) sobrepasan las estaciones AC-02 y AC-03 con 307,6 NMP/ml y 1203,3 NMP/ml respectivamente, lo mismo ocurre con el tramo AC-30 en la que aparecen todas las estaciones sobrepasando el valor indicado en el anteproyecto (1271 NMP/100ml).

El fósforo total obtuvo valores muy altos (con respecto a las otras estaciones estudiadas), en tres estaciones (AC-17, AC-18 y AC-19), las que se encuentran en un sector agrícola ubicado después de la ciudad de Quillota. Tanto la NCh N°1333 como el anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua no establecen límite de referencia. El estado trófico del sistema del río Aconcagua se evaluó con respecto a los valores de Fósforo total obtenidos en las estaciones monitoreadas, comparando estos valores con los indicados según Dodds et al., 1998 y Håkanson, 1994 (Tabla 5.2), indica que es un sistema eutrófico.

El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente que limite la productividad primaria en un cuerpo de agua. Por ende, en aquellos sistemas donde el fosfato es un nutriente limitante, la descarga de aguas de desecho, el drenaje proveniente de zonas agrícolas o de determinados aportes industriales estimulará el crecimiento de micro y macroorganismos acuáticos vegetales, causando un proceso de eutroficación. Las fuentes antropogénicas puntuales incluyen las aguas servidas domésticas e industriales; las fuentes no puntuales están asociadas con la escorrentía de áreas agrícolas y domésticas. Una fracción del P en los fertilizantes orgánicos e inorgánicos es removida parcialmente por las plantas, otra fracción es arrastrada por el agua y el resto se acumula en el suelo trayendo como consecuencia la presencia de cantidades elevadas de este elemento en ríos y lagos. Las lluvias también contribuyen con una cantidad importante del fósforo total presente en las aguas superficiales. Holtan et. al. (1988) encontró que la concentración de P en aguas de lluvia varía en el tiempo y en espacio, reportando concentraciones más altas en zonas industriales y agrícolas durante la estación de verano.

Mientras que para el Nitrógeno total el valor más alto se ubicó en la estación AC-09 ubicada después de la ciudad de la Calera, también en sector agrícola, después están las estaciones AC-17, AC-18 y AC-19, y estaciones de la desembocadura del río Aconcagua,

(AC-26, AC28). Tanto la NCh N°1333 como el anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua el no hace referencia a este parámetro.

Con respecto al Potencial rédox la estación que registró el valor mayor fue la AC-04 con 224,0 mV, encuentra ubicada aguas abajo la confluencia del río Colorado con el río Aconcagua. Tanto la NCh 1333, como la NSCA de la cuenca del río Aconcagua no establecen valoración regulatoria.

Las reacciones redox se definen como la transferencia de electrones de un material a otro. El oxígeno es el aceptor de electrones más importante de la biosfera, seguido del NO₃, SO₄ y CO₂. El termino potencial redox (Eh) se refiere al grado relativo de oxidación y reducción en un ambiente acuoso y los valores más altos indican condiciones más oxidantes, este término comúnmente es usado para indicar la disponibilidad relativa de los electrones en un ambiente químico particular. En el medio natural no existen electrones libres per se, sino que a cada oxidación ocurre una reducción por que un sistema en equilibrio el potencial redox debe ser neutro.

La turbidez presenta valores heterogéneos en la cuenca, el máximo se presentó en la estación AC-22 cercana a bancos de arena y próximo a lugares donde se realizan movimientos de tierra. El menor valor se registró en la estación AC-06, ubicada en un sector con poca intervención antrópica. Cabe mencionar que su régimen hidrológico es de alimentación mixta, o nivo-pluvial. En sus zonas alta y media el río Aconcagua es de régimen marcadamente nival, presentando un gran aumento de caudal en los meses de primavera producto de los deshielos cordilleranos. Para este parámetro, la NCh N°1333 para uso en riego y vida acuática y la NSCA para la cuenca del río Aconcagua no establecen valoración regulatoria.

8. BIBLIOGRAFÍA

A.P.H.A. , A.W.W.A. & W.E.F., 2005. Standard Methods: for the examination of water and wastewater. 21 Edition.

Norma Chilena Oficial 1333 (NCh 1333) Of. 1978 mod. 1987., Requisitos de calidad de agua para diferentes usos; Instituto Nacional de Normalización, pág. 4-7.

Norma Chilena Oficial NCh 411/2 Of 96. Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.

Anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las Aguas continentales superficiales de la Cuenca del río Aconcagua. 2004, Art 4 y Art.5.

Water Quality Data. Analysis and Interpretation. Arthur W. Hounslow. 397 pp.

Wetzel, R.G., and Likens, G.E.. 1991. Limnological Analyses. 2nd. Ed. Springer-Verlag. 391 pp



Anexo 6

Caracterización de la flora y vegetación asociada a tramos del río Aconcagua



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	.....
2. OBJETIVOS	.....
2.1. Objetivo General	.....
2.2. Objetivos Específicos	.....
3. METODOLOGÍA	.....
3.1. Flora y Vegetación Terrestre	.....
4. RESULTADOS	.....
4.1. Área de Estudio	.....
4.2. Flora y Vegetación Terrestre	.....
4.2.1. Riqueza de especies	.....
4.2.2. Abundancia de especies	.....
4.2.3. Vegetación	.....
4.2.4. Estado de conservación de la flora y formaciones vegetacionales	.....
4.3.1. Riqueza de especies	.....
5. CONCLUSIONES	.....
5.1. Flora y Vegetación Terrestre	.....
7. LITERATURA CITADA	.....
8. ANEXOS	.....



1. INTRODUCCION

Global y regionalmente los humedales sustentan una alta diversidad biológica y su extensión se estima en unas 750 a 1300 millones de ha, siendo citados como los ecosistemas más amenazados en la actualidad (Vila I. 2006). Organismos internacionales como la convención RAMSAR tienen como objetivo velar por su conservación y uso racional, mediante acciones locales y nacionales, gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo.

Dentro de los ambientes naturales de Chile, los humedales representan ecosistemas importantes para la flora y fauna. La flora de estos ecosistemas tiene una relevancia trascendental, no solo por su gran riqueza y abundancia, sino que también por ser fuente de alimento y/o protección para la fauna allí presente (ej. sitio de anidación para la avifauna de especies nativas y migratorias).

La quinta región cuenta con la presencia de variados humedales que se distribuyen desde la costa hasta la cordillera de los Andes. Con la finalidad de abarcar estos sitios, se consideró el Río Aconcagua que dentro de sus 142 kms de recorrido, alberga zonas con estas características.

El objetivo del presente estudio es realizar un estudio de caracterización biótica, considerando la flora y vegetación ripariana en el área de influencia descrita. El área de estudio abarca una unidad fisiográfica, correspondiente a macrófitos y vegetación de tipo esclerófila del bosque mediterráneo con zonas de humedales presentes junto al río.



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Realizar un estudio de caracterización de la flora y vegetación en Río Aconcagua, lo cual permitirá establecer el actual estado de los humedales asociados a la cuenca del río.

2.2. Objetivos Específicos

Flora Terrestre

- Determinar la riqueza florística del área de influencia directa del proyecto (diversidad biológica),
- Determinar la abundancia y ubicación (en el marco del proyecto) de las especies descritas,
- Analizar el estado de conservación y endemismo de las especies presentes en el área de estudio

Vegetación

- Referenciar la vegetación presente en el área de influencia del proyecto
- Determinar la presencia y representatividad (%) de las diferentes formaciones vegetacionales sobre el conjunto de las estaciones de muestreo establecidas

3. METODOLOGIA

Se realizó un listado de riqueza florística asignando un valor de cobertura absoluta (%) según Braun-Blanquet (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974). La campaña de terreno realizada durante noviembre 2010, contempló recorridos por el área de estudio, donde se establecieron 22 estaciones de monitoreo. En cada una de estas estaciones se proyectó 1 cuadrante de 10 x 10 m, en los cuales se identificó cobertura y riqueza de taxa.

4. RESULTADOS

4.1 Riqueza de especies

Durante la campaña realizada durante noviembre 2010, se encontró un total de 80 especies de plantas asociadas al curso de agua del río.

Se encontraron especies de origen nativo, así como también introducidas, lo cual sugiere una alta heterogeneidad y competencia entre las especies por colonizar estos lugares.

4.2.2 Abundancia de especies

Estación	Especie	Cobertura	Riqueza
AC-01	<i>Quillaja saponaria</i>	5	14
	<i>Vinca major</i>	10	
	<i>Hordeum murinum</i>	70	
	<i>Cirsium vulgare</i>		
	<i>Ficus carica</i>	15	
	<i>Populus deltoides</i>	15	
	<i>Cestrum palqui</i>	p	
	<i>Euphorbia peplus</i>		
	<i>Baccharis marginalis</i>		
	<i>Marrubium sp.</i>		
	<i>Populus deltoides-Baccharis sp.</i>		
	<i>Crataegus laevigata</i>		
	<i>Acacia caven</i>		
	<i>Schinus sp.</i>		
AC-02	<i>Hirschfeldia incana</i>		10
	<i>Cyperus eragrostis</i>		
	<i>Gymnophyton isatidicarpum</i>		
	<i>Polypogon sp.</i>		
	<i>Poa sp.</i>		
	<i>Equisetum bogotense</i>		
	<i>Baccharis marginalis</i>	20	
	<i>Brassica rapa</i>		
	<i>Aristolelia chilensis</i>		
	<i>Calceolaria sp.</i>		
AC-03	<i>Schinus sp.</i>		9
	<i>Baccharis marginalis</i>		
	<i>Cortaderia ruidiuscula</i>	60	
	<i>Populus deltoides</i>	5	
	<i>Penisetum clandestinum</i>	5	
	<i>Equisetum bogotense</i>		
	<i>Cichorium intybus</i>		
	<i>Hirschfeldia incana</i>		
	<i>Salix sp.</i>	40	
AC-04	<i>Eschscholzia californica</i>	5	11
	<i>Proustia pungens</i>		
	<i>Nacella aff. chilensis</i>		

	<i>Baccharis sp.</i>		
	<i>Equisetum bogotense</i>		
	<i>Baccharis marginalis</i>	20	
	<i>Acacia sp.</i>		
	<i>Poa sp.</i>	p	
	<i>Otholobium glandulosum</i>		
	<i>Cyperus eragrostis</i>		
	<i>Hirschfeldia incana</i>		
AC-05	<i>Chrysanthemum coronarium</i>		11
	<i>Baccharis marginalis</i>		
	<i>Gnaphalium sp.</i>		
	<i>Hirschfeldia incana</i>		
	<i>Baccharis marginalis</i>	5	
	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>		
	<i>Tessaria absinthioides</i>		
	<i>Polypogon aff monspeliensis</i>		
	<i>Veronica anagallis-aquatica</i>		
	<i>Rubus aff ulmifolius</i>		
	<i>Cortaderia rudiusscula</i>		
AC-06	<i>Chrysanthemum coronarium</i>		13
	<i>Baccharis marginalis</i>	5	
	<i>Gnaphalium sp.</i>		
	<i>Hirschfeldia incana</i>		
	<i>Baccharis marginalis</i>		
	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>		
	<i>Tessaria absinthioides</i>		
	<i>Polypogon aff monspeliensis</i>		
	<i>Veronica anagallis-aquatica</i>		
	<i>Rubus aff ulmifolius</i>		
	<i>Cortaderia rudiusscula</i>		
	<i>Poa sp.</i>		
	<i>Eschscholzia californica</i>	p	
AC-07	<i>Rumex maricola</i>		12
	<i>Tessaria absinthioides</i>		
	<i>Galega officinalis</i>	15	
	<i>Hirschfeldia incana</i>		
	<i>Matricaria chamomilla</i>		
	<i>Verbascum virgatum</i>		
	<i>Sium latifolium</i>		
	<i>Baccharis marginalis</i>		
<i>Cirsium vulgare</i>			



	<i>Veronica anagallis-aquatica</i>		
	<i>Poa sp.2</i>	12	
	<i>Polygonum sp.</i>		
AC-08	<i>Hirschfeldia incana</i>	25	8
	<i>Galega officinalis</i>		
	<i>Baccharis marginalis</i>		
	<i>Verbascum virgatum</i>	5	
	<i>Eschscholzia californica</i>	5	
	<i>Ricinus communis</i>		
	<i>Veronica anagallis-aquatica</i>		
	<i>Chenopodium album</i>		
AC-09	<i>Baccharis marginalis</i>	p	11
	<i>Salix babylonica</i>		
	<i>Hirschfeldia incana</i>		
	<i>Hordeum sp.</i>		
	<i>Eschscholzia californica</i>		
	<i>Hirschfeldia incana</i>		
	<i>Euphorbia peplus</i>		
	<i>Gnaphalium viravira</i>		
	<i>Baccharis sp.</i>		
	<i>Polygonum persicaria</i>		
	<i>Poa sp.3</i>		
AC-10	<i>Baccharis marginalis</i>		20
	<i>Hirschfeldia incana</i>	p	
	<i>Cirsium vulgare</i>		
	<i>Poa sp.</i>		
	<i>Rubus ulmifolius</i>		
	<i>Sonchus asper-Rubus ulmifolius</i>		
	<i>Baccharis marginalis</i>		
	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>		
	<i>Sium latifolium</i>		
	<i>Rumex maricola</i>		
	<i>Tessaria absinthioides</i>		
	<i>Salix sp.</i>		
	<i>Galega officinalis</i>	p	
	<i>Salix humboltiana</i>	70	
	<i>Verbascum virgatum</i>		
	<i>Polygonum persicaria</i>		
<i>Senecio sp.</i>			
<i>Conium maculatum</i>			

	<i>Matricaria chamomilla</i>		
	<i>Verbena litorilis</i>		
AC-11	<i>Hirschfeldia incana</i>	90	5
	<i>Matricaria chamomilla</i>	5	
	<i>Galega officinalis</i>	p	
	<i>Rumex maricola</i>		
	<i>Polygonum persicaria</i>		
AC-17	<i>Hirschfeldia incana</i>	60	6
	<i>Raphanus sativus</i>	p	
	<i>Polygonum persicaria</i>	p	
	<i>Poa sp.</i>		
	<i>Galega officinalis</i>		
	<i>Rumex maricola</i>		
AC-18	<i>Hirschfeldia incana</i>	60	6
	<i>Raphanus sativus</i>	p	
	<i>Polygonum persicaria</i>	p	
	<i>Poa sp.</i>		
	<i>Galega officinalis</i>		
	<i>Rumex maricola</i>		
AC-19	<i>Hirschfeldia incana</i>	60	6
	<i>Raphanus sativus</i>	p	
	<i>Polygonum persicaria</i>	p	
	<i>Poa sp.</i>		
	<i>Galega officinalis</i>		
	<i>Rumex maricola</i>		
AC-20	<i>Hirschfeldia incana</i>	25	9
	<i>Tessaria absinthioides</i>	15	
	<i>Baccharis marginalis</i>	15	
	<i>Polygonum persicaria</i>	5	
	<i>Verbena litoralis</i>	5	
	<i>Plantago lanceolata</i>	5	
	<i>Verbascum virgatum</i>	20	
	<i>Gnaphalium sp.</i>	5	
	<i>Chamaemelum mixtum</i>	5	
AC-21	<i>Tessaria absinthioides</i>	5	18
	<i>Galega officinalis</i>	25	
	<i>Baccharis marginalis</i>	p	
	<i>Sonchus asper</i>	5	
	<i>Gnaphalium sp.</i>	5	
	<i>Chamaemelum mixtum</i>	p	
	<i>Conyza bonariensis</i>	5	

	<i>Cynodon dactylon</i>	p	
	<i>Lolium sp.</i>	5	
	<i>Gnaphalium sp.</i>	5	
	<i>Hirschfeldia incana</i>	5	
	<i>Polypogon monspeliensis</i>	5	
	<i>Hydrocotyle verticillata</i>	p	
	<i>Rubus ulmifolius</i>	5	
	<i>Hirschfeldia incana</i>	p	
	<i>Cirsium vulgare</i>	5	
	<i>Eschscholzia californica</i>	5	
	<i>Hirschfeldia incana</i>	15	
AC-22	<i>Galega officinalis</i>	30	17
	<i>Equisetum bogotense</i>	p	
	<i>Polygonum persicaria</i>	p	
	<i>Ludwigia peploides</i>	p	
	<i>Polygonum persicaria</i>	5	
	<i>Rumex aff maricola</i>	p	
	<i>Apium nodiflorum</i>	p	
	<i>Cyperus eragrostis</i>	p	
	<i>Plantago lanceolata</i>	5	
	<i>Verbena litoralis</i>	p	
	<i>Baccharis marginalis</i>	15	
	<i>Polypogon monspeliensis</i>	5	
	<i>Salix humboltiana</i>	p	
	<i>Verbascum virgatum</i>	15	
	<i>Azolla filiculoides</i>	5	
	<i>Cyperus eragrostis</i>	5	
<i>Hirschfeldia incana</i>	5		
AC-23	<i>Cyperus eragrostis</i>	p	18
	<i>Galega officinalis</i>	50	
	<i>Tessaria absinthioides</i>	p	
	<i>Galium sp</i>	5	
	<i>Chamaemelum mixtum</i>	p	
	<i>Hirschfeldia incana</i>	5	
	<i>Plantago lanceolata</i>	p	
	<i>Verbena litoralis</i>	p	
	<i>Conyza sp.</i>	5	
	<i>Gnaphalium sp.</i>	p	
	<i>Rumex maricola</i>	5	
	<i>Hordeum murinum</i>	p	
<i>Baccharis marginalis</i>	15		



	<i>Rhaphanus sativus</i>	5	
	<i>Polygonum persicaria</i>	p	
	<i>Geranium sp.</i>	p	
	<i>Equisetum bogotense</i>	p	
	<i>Matricaria recutita</i>	p	
AC-27			0
AC-26	<i>Scirpus californicus</i>	20	8
	<i>Tessaria absinthioides</i>		
	<i>Hydrocotyle verticillata</i>	5	
	<i>Poa sp.</i>	60	
	<i>Rhaphanus sativus</i>		
	<i>Galega officinalis</i>	10	
	<i>Rumex maricola</i>		
	<i>Chamaemelum mixtum</i>		
AC-30	<i>Galega officinalis</i>	25	20
	<i>Cyperus eragrostis</i>	5	
	<i>Taraxacum officinale</i>	5	
	<i>Azolla filiculoides</i>	5	
	<i>Helenium aff aromaticum</i>	5	
	<i>Apium nodiflorum</i>	5	
	<i>Equisetum bogotense</i>	5	
	<i>Polypogon aff monspeliensis</i>	5	
	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	5	
	<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	5	
	<i>Equisetum bogotense</i>	5	
	<i>Euphorbia sp.</i>	p	
	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	p	
	<i>Rumex maricola</i>	p	
	<i>Baccharis marginalis</i>	p	
	<i>Chamaemelum mixtum</i>	p	
	<i>Cyperus aff rotundus</i>	p	
<i>Gnaphalium vira-vira</i>	p		
<i>Senecio sp.</i>	p		
<i>Hirschfeldia incana</i>	p		

4.2.3 Vegetación

Durante el recorrido de las estaciones de muestreo, que van desde la precordillera de Los Andes hasta la desembocadura del río Aconcagua se encontraron formaciones vegetacionales que según Gajardo (1992) y Luebert & Pliscoff (2006) son del tipo matorral y bosque esclerófilo, así como también sub-formaciones de:

- Matorral Esclerófilo Andino presente en la zona alta del río Aconcagua
- Matorral Espinoso de las serranías
- Bosque esclerófilo costero, en el valle y desembocadura del río respectivamente.

Éstas formaciones van presentando cambios en la composición florística debido a variaciones microclimáticas y geográficas en el recorrido del Río Aconcagua, determinado a su vez, por la gradiente altitudinal y geográfica (E-O) que existe.

Para la sub-formación de matorral esclerófilo presente en la zona alta del río se registraron especies dominantes como *Retanilla trinervia*, *Colliguaja odorifera*, *Schinus polygamu*, *Salix humboldtiana* (asociado a cursos de agua del Río), presencia ocasional de *Quillaja saponaria* y *Lithrea caustica*. Laderas de exposición norte se encontraron dominadas por *Echinopsis chiloensis* y *Puya berteroniana*.

Las especies componentes del matorral espinoso de las serranías son similares a la formación descrita anteriormente presentando además especies como *Acacia caven*, *Adesmia confusa*, *Schinus montanus* y *Nasella chilensis*.

El Bosque esclerófilo costero que se presenta junto al Río Aconcagua está dominado por *Cryptocarya alba* y *Peumus boldus* como parte del estrato arborescente, además de *Dasyphyllum excelsum* y *Persea lingue* en algunas zonas. Como estrato arbustivo *Sophora macrocarpa* y *Lobelia excelsa*, y gran presencia de enredaderas como *Proustia pyrifolia* y *Lardizabala biternata*; esta sub-formación se desarrolla mayoritariamente en fondos de quebradas junto al Río Aconcagua, con laderas de exposiciones Sur, caso distinto a laderas de exposición norte con presencia de cactáceas y especies del género *Puya*.

A nivel del mar y en la desembocadura de este río tenemos un ecosistema del tipo humedal con vegetación de por sí acuática dominando especies como *Scirpus sp*, *Juncus californicus*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Azolla filiculoides* y *Equisetum bogotense*, (presente a lo largo del sitio de muestreo).

Finalmente, a lo largo de la toma de muestras se encontró gran presencia de malezas asociadas a curso de agua junto a la flora acuática; *Galega officinalis*, *Hirschfeldia incana*, *Cyperus eragrostis* por nombrar algunas.

Todas estas formaciones se presentaron de forma heterogénea a lo largo de las estaciones de muestreo, presentando coberturas y dominancias diferentes entre uno y otro lugar.

4.2.4 Estado de conservación de la flora y formaciones vegetacionales

No se encontró la presencia especies clasificadas en estado de conservación según Benoit (1989).



6. BIBLIOGRAFIA

Cea, A., Díaz, Y Robles (2003). Inventario de Flora - Inventario del Sistema de Humedales Costeros de Coquimbo / www.humedalescoquimbo.cl

Convención de Ramsar (2004). Manejo de las zonas costeras (serie Manuales, N° 13) / www.ramsar.org

Gajardo, R. (1992). La vegetación Natural de Chile; Proposición de un sistema de clasificación y representación de la distribución geográfica; Versión resumida y adaptada. Santiago de Chile. 50 p.

Hoffmann, A. (1995). Flora Silvestre de Chile Central: Zona Central(Tercera Edición). Ediciones Fundación Claudio Gay. 255 p.

Luebert, F. y Pliscoff (2006). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Edición Universitaria, Santiago, Chile. 316 p.

Matthei, O. (1995). Manual de las malezas que crecen en Chile. Santiago, Chile. 545 p.

Tellier S., Aldunate G., Riedemann P., Niemeyer H., (2005). Flora de la Reserva Nacional Río Clarillo: Guía de Identificación de especies Impreso Socías Ltda., Santiago. 367 p.

Vila I., Veloso A., Schlatter R., Ramírez C., (2006). Macrofitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile. Editorial Universitaria., Santiago, Chile. 187 p.