

UCH-FC  
B. Ambiental  
V476



UNIVERSIDAD DE CHILE -FACULTAD DE CIENCIAS -ESCUELA DE  
PREGRADO

**“APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SENSORAMIENTO  
REMOTO PARA LA CONSERVACIÓN Y GESTIÓN DEL  
HUMEDAL DEL RÍO CRUCES”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo con mención en Medio Ambiente.

**GABRIELA PAZ VERARDI TOBAR**

Dra. Luisa Delgado Isasi.  
Directora del Seminario de Título

Dr. Víctor Marín Briano.  
Co-Director del Seminario de Título

Enero de 2013

Santiago - Chile



## INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la candidata

**GABRIELA PAZ VERARDI TOBAR**

### “APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SENSORAMIENTO REMOTO PARA LA CONSERVACIÓN Y GESTIÓN DEL HUMEDAL DEL RÍO CRUCES”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Bióloga con mención en Medio Ambiente.

*Dra. Luisa Delgado Isasi*  
**Directora Seminario de Título**

*Dr. Victor Marín Briano.*  
**Co-Director**

#### **Comisión de Evaluación**

*Dr. Luis Morales*  
**Presidente Comisión**

*Dr. Mauricio Galleguillos*  
**Evaluador**

The image shows three handwritten signatures in black ink, each written over a horizontal line. The first signature is 'Luisa Delgado Isasi', the second is 'Victor Marín Briano', and the third is 'Luis Morales'. To the right of the signatures is a circular stamp with the text 'FACULTAD DE CIENCIAS', 'BIBLIOTECA CENTRAL', and 'U. DE CHILE' around the perimeter. There is also a blue ink signature over the second line.

Santiago de Chile, Enero de 2013.

## Biografía



Gabriela Paz Verardi Tobar nació el 15 de septiembre de 1986 en la ciudad de Santiago, Chile.

Desde pequeña sintió una gran cercanía, admiración y respeto por la naturaleza, principalmente por la influencia de sus padres quienes prácticamente desde su nacimiento inculcaron estos valores, sobretodo el respeto por los animales, conviviendo con mascotas toda la vida.

Los animales, dinosaurios, guitarra, astrología y planetas (además de series de animación japonesa), abarcaban sus preferencias desde la infancia, reforzándose en la adolescencia. Luego de una larga confusión vocacional, fueron personajes como Darwin y Mendel quienes la inspiraron, dándose cuenta que lo que realmente le gustaba era la biología.

Una mayor comprensión del entorno la hicieron ver los grandes problemas ambientales que ocurrían y el rol que desempeñan los distintos actores de la sociedad. Es por éstas razones que se decidió por la carrera de Biología Ambiental en la Universidad de Chile, con la finalidad de adquirir los conocimientos necesarios para ayudar a tomar mejores decisiones en materias ambientales. Durante su carrera conoció diversas herramientas por medio de las cuales lograr este objetivo, adquiriendo especial interés por los sistemas de información geográfica.

Gusta de la música, viajar, fotografiar paisajes, flora y fauna, practicar yoga y ser una dog lover.

*Para mis abuelos, mis Elianas, Elfo y Daniel,  
que me cuidan y acompañan desde arriba...*

## **Agradecimientos**

A mi familia, mis padres Alejandrina y Nelson, mis pilares que me han entregado todo en la vida, por su amor y apoyo incondicionales en todo lo que me he propuesto y por todo su esfuerzo para que pudiera lograrlo. A mis queridas perrunas, por ser mi alegría de cada día. Gracias por ser mi cobijo y mi núcleo.

A mi Nicolás, gracias por ser mi gran compañero durante todo este camino en el que aprendimos mano a mano, por estar siempre presente, por tus consejos, críticas, ánimo, ayuda y amor.

A Mónica, por la ayuda y cariño de tantos años.

A mis amigas de la vida, por siempre estar ahí.

A mis amigos y compañeros de carrera y facultad, por todo lo compartido, reído, sufrido, trasnochado y aprendido juntos en las diferentes etapas de esta carrera. En especial a Paola Lambertini por su amistad y ser mi partner siempre.

A mis compañeros del LME, Jime, Chefa, Mari, Karlita, Ale, Carlitos, Zoltan y Rhodney, gracias por todos los momentos alegres y el ánimo de cada día que han sido fundamentales para mí, y por supuesto por todos los tecitos y galletas compartidos. También a Toño. Tami, Lesly, Marce y Felipe por brindarme su ayuda siempre que lo necesité.

Agradezco a mis tutores y maestros, profesora Luisa Delgado y profesor Victor Marín por el apoyo, dedicación, paciencia, críticas constructivas y por todas las enseñanzas y experiencias entregadas para mi formación profesional. Y a Junior por su alegre bienvenida de cada mañana.

A la Corporación Nacional Forestal (CONAF) por la entrega de datos.

Esta tesis fue financiada por el Proyecto FONDECYT No 1110077 titulado "The 2004 ecosystem regime shift of the Río Cruces wetland: testing the water depth hypothesis through numerical modeling and remote sensing analyses" a cargo del Prof. Víctor Marín, con el respaldo del Laboratorio de Modelación Ecológica.

# Índice de contenidos

Resumen .....	xii
Abstract .....	xiii
<b>1- Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Conservación y enfoque ecosistémico .....	1
1.2. Enfoque ecosistémico y sistemas de información geográfica (SIG).....	3
1.3. Planteamiento del problema.....	5
1.4 Humedal Río Cruces.....	7
Objetivos.....	10
<b>2. Materiales y Métodos.....</b>	<b>11</b>
2.1 Marco conceptual .....	11
2.1.1 Funciones y procesos ecosistémicos .....	11
2.1.2 Sistemas de información geográfica (SIG).....	12
2.1.3 Modelación ecológica. ....	14
2.2 Área de estudio.....	15
2.2.1 Descripción ecológica del humedal.....	17
2.2.2 Descripción del entorno del humedal .....	18
2.3 Metodología .....	21
2.3.1 Caracterización de los ecosistemas terrestres a través del análisis de imágenes satelitales.....	21
Pre-procesamiento de la imagen.....	21
Clasificación e identificación de sistemas.....	22
Base de datos de CONAF.....	26
Edición de la imagen.....	27

2.3.2	Modelo conceptual .....	27
2.3.3.	Identificación de zonas vulnerables .....	28
2.3.4	Desarrollo de un modelo de gestión.....	29
<b>3.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>31</b>
3.1	Caracterización de los sistemas ecológicos terrestres.....	31
3.2	Cálculo de áreas y cambio de uso de suelo .....	33
3.3	Modelo Conceptual.....	40
3.4	Procesos ecosistémicos y su influencia sobre el humedal.....	43
3.5	Vulnerabilidad del suelo a través de una clasificación cualitativa en base a Vegetación y erosión de suelo.....	48
3.6	Modelo de gestión .....	49
<b>4.</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>52</b>
4.1	Uso de imágenes Landsat para el estudio de ecosistemas.....	52
4.2	Cambios de uso de suelo.....	55
4.3	Procesos ecosistémicos relevantes para el humedal .....	56
4.4	Utilidad de los SIG en gestión de ecosistemas. ....	61
<b>5.</b>	<b>Bibliografía</b> .....	<b>65</b>
<b>6.</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>71</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Análisis de separabilidad.....	33
<b>Tabla 2.</b> Áreas de las categorías resultantes de la clasificación supervisada. ....	33
<b>Tabla 3.</b> Superficies de los sistemas de interés de acuerdo a CONAF y a la clasificación supervisada. ....	35
<b>Tabla 4.</b> Superficies a nivel regional para los sistemas de interés (CONAF, 2008) .....	36
<b>Tabla 5.</b> Identificación de procesos mediante la asignación de servicios y generación de bienes por parte de cada sistema .....	44
<b>Tabla 6.</b> Procesos ecosistémicos de los sistemas identificados y su influencia sobre el Humedal. ....	46
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de vulnerabilidad de acuerdo a la vegetación presente. ....	49
<b>Tabla 8.</b> Áreas por categoría de erosión. ....	50

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema de la interacción de componentes bióticos y abióticos. ....	11
<b>Figura 2.</b> Representación de los formatos vectorial y en formato raster. ....	13
<b>Figura 3.</b> Lugar de estudio. ....	15
<b>Figura 4.</b> Imagen Landsat 7 ETM+ utilizada junto a las rutas y puntos de muestreo. ...	25
<b>Figura 5.</b> (a) Resultado de la clasificación supervisada. (b) Clasificación supervisada corregida de acuerdo a uso de suelo. ....	32
<b>Figura 6.</b> Proporción porcentual de los sistemas identificados en la clasificación supervisada. ....	34
<b>Figura 7.</b> Gráfico de áreas de los sistemas praderas, plantación forestal y bosque nativo obtenidos en el Catastro de 1994 y 1997, su actualización de 2006 y los datos obtenidos en la clasificación supervisada de la imagen satelital correspondiente al año 2011. ....	35
<b>Figura 8.</b> Variación a nivel de la Región de los Ríos para praderas, plantación forestal y bosque nativo (CONAF, 2008) .....	36
<b>Figura 9.</b> (a) Usos de suelo CONAF 94-97 (b) Usos de suelo de CONAF 2006 superpuesto como transparencia sobre los usos de CONAF 94-97. ....	37
<b>Figura 10.</b> (a) Usos de suelo CONAF 2006 (b) Usos de suelo de la clasificación supervisada (c) Usos de suelo de la clasificación supervisada superpuestos sobre los usos de suelo de CONAF 2006 .....	38
<b>Figura 11.</b> Modelo conceptual de interacciones entre los sistemas seleccionados como componentes o reservorios. ....	42
<b>Figura 12.</b> Procesos ecosistémicos según tipo de función que desempeñan de los sistemas identificados benéficos para el humedal. ....	47
<b>Figura 13.</b> Mapa de zonas susceptibles a erosión. ....	50
<b>Figura 14.</b> Gráfico con áreas de vulnerabilidad expresadas en porcentaje. ....	50
<b>Figura 15.</b> Modelo propuesto para gestionar el humedal considerando herramientas SIG y el estudio de sus procesos ecosistémicos .....	51

## Abreviaturas

CEA: Centro de Estudios Agrarios y Ambientales.

CONAF: Corporación Nacional Forestal.

SIG: Sistemas de Información Geográfica.

SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental.

USGS: United States Geological Survey

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

## Glosario

**Bosque nativo:** se refiere zonas en donde se distinguen principalmente especies arbóreas nativas.

**Bosque mixto:** se refiere a zonas en donde se presentan mezclas de vegetación entre especies arbóreas nativas, especies arbóreas introducidas y además especies arbustivas.

**Plantación forestal:** zonas fácilmente delimitables en el espacio por su homogeneidad y en donde se encuentran especies arbóreas introducidas para fines comerciales, principalmente pino radiata y eucalipto.

**Praderas y cultivos:** zonas destinadas principalmente al pastoreo de ganado y cultivos agrícolas. Existe presencia de matorrales y especies arbóreas principalmente utilizadas como delimitaciones.

## Resumen

La gestión contemporánea para la conservación de áreas protegidas, entre ellas los humedales, requiere de un enfoque interdisciplinario como lo propone la Convención RAMSAR, debido a los distintos impactos antrópicos que cada día pone en riesgo los objetivos de esta y principalmente a la gran variedad de actores gubernamentales y sociales que intervienen en la gestión integrada de estas. En Chile existen en la actualidad 12 humedales aceptados por esta Convención, abarcando una superficie total de 358.989 ha. Uno de estos humedales, el humedal del Río Cruces en Valdivia, experimentó en el año 2004 un cambio de estado ecológico, causando gran impacto social. En este contexto, este seminario de título propone considerar herramientas interdisciplinarias como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la gestión de la conservación que apoyen la toma de decisiones y que además pueden detectar variaciones espaciales y temporales, que puedan afectar los ecosistemas. Para ello, se analizó espacialmente los componentes de la subcuenca del Humedal del río Cruces y su entorno mediante el análisis de imágenes Landsat7 ETM+. Se identificaron los sistemas terrestres que se encuentran cercanos al humedal y las funciones y procesos ecosistémicos que afectan positiva o negativamente a la mantención ecológica del humedal. Este seminario propone un modelo conceptual para la gestión integrada por medio de la aplicación de herramientas SIG y enfoques ecosistémicos.

## **Abstract**

The contemporaneous management for the conservation of protected areas, including wetlands, requires an interdisciplinary perspective as proposed by the RAMSAR Convention. This is due to the anthropogenic impacts that every day threatens the objectives of the Convention and the variety of social and governmental actors. In Chile there are currently 12 wetlands accepted by the Ramsar Convention, covering a total area of 358.989 ha. One of them, the Río Cruces wetland in Valdivia, experienced a regime shift in 2004, causing large social impact. In this seminar we propose considering interdisciplinary tools such as Geographic Information Systems (GIS) for the management of conservation, as a tool for decision's support that may also be used to detect spatial and temporal changes affecting the ecosystems. We conducted a spatial analysis of the components of the Río Cruces wetland sub-watershed by means of LANDSAT 7 ETM+ images. We identified terrestrial systems close to the wetland ecosystem, their ecosystem functions and processes that may positively or negatively affect its ecology. We propose a conceptual model for the integrated management of ecological systems using GIS tools coupled with an ecosystem approach.

## 1- Introducción

### 1.1 Conservación y enfoque ecosistémico

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), firmado por 188 países incluyendo todos los latinoamericanos, respalda el enfoque ecosistémico como su primer marco de acción (Guerrero et al., 2006). Chile lo ratificó el 9 de septiembre de 1994, mediante Decreto Supremo N° 1.963 del Ministerio de Relaciones Exteriores, el que fue publicado en el Diario Oficial con fecha 6 de mayo de 1995<sup>1</sup>.

La base de este enfoque es el concepto de ecosistema. Tansley (1935), se refiere al ecosistema como el sistema total (en el sentido de la física), incluyendo no sólo el conjunto de organismos, sino que la totalidad de los factores: *“Es el sistema así formado el que, desde la perspectiva del ecólogo, constituye la unidad básica de la naturaleza sobre la faz de la tierra”*. Por tanto, un ecosistema es una unidad espacialmente explícita de la Tierra que incluye a todos los organismos, junto con todos los componentes de su medio abiótico dentro de sus límites.

En el contexto del CDB, el enfoque ecosistémico es una estrategia para la gestión integral del suelo, agua y recursos vivos que promueve la conservación y el uso sostenible de una manera equitativa. El enfoque coloca a la gente que vive en los

---

<sup>1</sup> Ministerio del Medio Ambiente. [Disponible en <http://www.mma.gob.cl/biodiversidad/1313/w3-propertyvalue-15651.html>. Revisado el 15 de junio de 2012]

ecosistemas y a sus medios de vida en el centro de las decisiones sobre gestión y protección. El ecosistema es entendido en una perspectiva amplia vinculada al desarrollo humano; es decir, como un sistema natural cuyos flujos energéticos e interacciones con el ser humano son determinantes en términos tanto de su conservación como de la calidad de vida de la gente. El ecosistema es así fuente de beneficios (representados a través de servicios ecosistémicos) a los cuales la gente debe acceder de manera justa y equitativa. En consecuencia, su manejo debe ser integral y orientado a romper con la disyuntiva de conservación o uso (Guerrero et al., 2006). Por tanto, el enfoque ecosistémico puede ser utilizado para buscar un balance apropiado entre la conservación y el uso de la diversidad biológica en áreas donde hay múltiples usuarios y valores naturales importantes (Sherphed, 2006).

La conservación de ecosistemas es un paradigma reciente de la ecología de la conservación, el cual está tomando fuerza a nivel mundial por las ventajas que presenta a largo plazo en comparación con las estrategias convencionales de conservación de especies individuales (Fontúrbel, 2004). Considera la variabilidad genética como base de la biodiversidad y la integridad de los procesos ecológicos, que contribuyen a un funcionamiento “saludable” del ecosistema. En estos, todas las especies biológicas del ecosistema son importantes, planteando al valor funcional de las especies como una nueva categoría de valorización de la biodiversidad. La conservación de ecosistemas además toma en cuenta la capacidad de resiliencia ambiental y tiene un enfoque a largo plazo, orientado hacia la sostenibilidad de los ecosistemas, respetando su dinámica natural de sucesión.

## **1.2. Enfoque ecosistémico y sistemas de información geográfica (SIG).**

El enfoque ecosistémico se basa en la premisa que existe incerteza en nuestro conocimiento. Los estudios que consideran el enfoque ecosistémico y a los ecosistemas como objeto de conservación aceptan que: i) los ecosistemas dependen de la escala espacio-temporal de análisis; ii) las funciones que poseen dependen de su estructura, diversidad e integridad; iii) son dinámicos en espacio y tiempo; y iv) su comportamiento es incierto (Christensen et. al., 1996). En este contexto, resulta conveniente utilizar herramientas interdisciplinarias como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para su comprensión y estudio. Los SIG se han convertido en una herramienta de análisis ampliamente difundida debido a la variedad de áreas del saber y actividades de la sociedad en las que son potencialmente útiles (Bosque-Sendra & García, 2000). Actualmente, la tecnología satelital, que se usa como parte de los SIG, constituye una herramienta que permite estudiar, en tiempo real y diferido, la estructura y función de los ecosistemas durante prolongados períodos presentes e incluso pasados. De esta forma, los datos aportados por satélites pueden utilizarse para generar un sistema de monitoreo y pronóstico temprano para áreas de conservación (Oyarzabal et al., 2008; Fernández & Piñeiro, 2008).

Cada vez, es más común el uso de sistemas de información geográfica en la gestión de áreas protegidas debido a: a) el surgimiento de la demanda de nuevos criterios para la planificación de la conservación debido a los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad, b) una creciente y mayor aceptación social de los esfuerzos

interdisciplinarios en protección (Cabello et al., 2008), y c) la extensión y heterogeneidad, en tiempo y espacio, de las áreas protegidas. Esta herramienta es necesaria para poder evaluar el territorio en su conjunto de forma de detectar tempranamente cambios y poder entregar cuantificaciones objetivas para un diagnóstico y evaluación, facilitando así la toma de decisiones.

En la década de los 70's aparecen los primeros satélites para observar la Tierra. Desde ese momento, la ciencia pone a disposición de la sociedad herramientas y modelos conceptuales con el propósito de traducir los datos registrados por los sensores remotos en conocimiento útil para la toma de decisiones en múltiples áreas incluyendo las ciencias ambientales y la conservación (Paruelo, 2008). Esta aproximación, conocida como sensoramiento remoto, reconoce implícitamente que los ecosistemas pueden ser diferenciados por medio de sus características espectrales. Chuvieco (1996) señala que uno de los objetivos de los usuarios de teledetección, es obtener un mapa temático que refleje el estado de alguna variable de interés del territorio en estudio. Por tanto, la cartografía obtenida por teledetección se transforma en un componente que se incorpora al SIG y que entrega otras variables valiosas y necesarias para una mejor evaluación del paisaje de interés, optimizando su aprovechamiento o conservación.

En este seminario de título, se utilizó los sistemas de información geográfica para caracterizar los ecosistemas que componen una cuenca hidrográfica e identificar procesos y funciones con el propósito de contribuir a un enfoque integrador de la conservación biológica.

### 1.3. Planteamiento del problema

El informe de la Evaluación Ecosistémica del Milenio (EEM-2005) pone en evidencia la degradación de un buen número de recursos naturales, ecosistemas y biomas, y que esta ha alcanzado niveles inquietantes a escala mundial. En Chile, genera preocupación la degradación del bosque nativo, la contaminación de los lagos, la introducción de especies invasoras, entre otros.

Figuroa (2008) destaca que actualmente no existe un cuerpo jurídico que regule de manera sistemática y orgánica las diversas áreas de protección existentes en Chile. Además, las distintas categorías de manejo se encuentran reguladas por normas diferentes. Esta dispersión normativa y la ausencia de un reglamento generan contradicciones, retrasos legislativos, vacíos e incoherencias que requieren ser subsanadas. Por tanto, la legislación chilena con respecto a áreas protegidas se encuentra dispersa, es ambigua y contradictoria, no asegurando una adecuada protección del patrimonio natural del país. Por otra parte, la falta de un enfoque ecosistémico para la conservación de áreas protegidas deja de lado información necesaria para la gestión actual de las áreas en cualquier categoría de protección. Por ello, en este seminario de título se propone la utilización del enfoque ecosistémico como elemento fundamental en una estrategia como marco teórico e integración de los planes de gestión para áreas protegidas.

El estado actual de los ecosistemas de bosque nativo y la pérdida de biodiversidad es fruto de las actividades productivas de los seres humanos en busca del desarrollo económico (Delgado, 2010). Estos ecosistemas forman parte de cuencas hidrográficas conformando una unidad de estudio y manejo donde las sociedades humanas se benefician de los procesos y bienes ecosistémicos que estas proveen (Sepúlveda, 2010). En una cuenca hidrográfica, la calidad de agua, su escorrentía y servicios ecosistémicos depende de los procesos que ocurren en los ecosistemas de bosque nativo que la conforman (Nahuelhual et al, 2006). Por tanto, su degradación afecta tanto a la conservación de la biodiversidad como a los ecosistemas que interactúan con estos y a la sociedad que utiliza los bienes y servicios ecosistémicos que estos proveen.

A lo largo de la historia, los bosques del sur de Chile han pasado por cambios provocados por las diferentes etapas de desarrollo desde las comunidades indígenas, posterior colonización extranjera y el gran proceso de industrialización en el último siglo (Armesto et al., 1994). Las dos primeras etapas, período indígena y colonización, se caracterizaron por la quema de bosque para viviendas y áreas de cultivo así como extracción intensiva de leña. La etapa de explotación selectiva se caracterizó por la entrada en vigencia de la Ley Forestal de 1931 que validó el uso del fuego y permitió la explotación de bosques en terrenos fiscales. La condición actual se define como fase industrial (desde 1950 en adelante). En esta fase ocurre la mayor explotación y deterioro de bosques nativos. En los años 40's se estableció la empresa forestal con terrenos propios, con la plantación de especies introducidas de rápido crecimiento,

principalmente pino radiata o pino insigne (*Pinus radiata*). Las plantaciones de pino se iniciaron en terrenos agrícolas degradados o abandonados y pronto se expandieron a bosques nativos secundarios o degradados. Las áreas con renovales, en lugar de ser manejadas, fueron quemadas y reemplazadas por plantación de pino. De esta forma, la explotación del bosque nativo se ha realizado sin considerar las consecuencias ecológicas que conlleva (Schlatter, 1977). El Decreto Ley 701 de 1974 subsidió el costo de establecer plantaciones de especies exóticas en zonas que perdieron su cobertura de bosque original, donde muchas de estas áreas tenían especies de bosque nativo. En la actualidad, la Ley 20.283 de 2008 incorpora conceptos destinados a la recuperación del bosque nativo y fomento forestal<sup>2</sup>. Lo que se busca es proteger, recuperar y mejorar los bosques nativos para asegurar la sustentabilidad forestal.

#### **1.4 Humedal Río Cruces**

El ecosistema objeto de estudio de este seminario de título fue el Humedal de Río Cruces y sus áreas adyacentes (zona buffer). El cambio de estado ocurrido el año 2004 en el humedal, ubicado en la desembocadura de la cuenca del Río Cruces, marcó un hito en la historia ambiental de Chile, pues implicó la transformación de un humedal de aguas claras a uno de aguas turbias (Marín et al., 2009) con la consecuente disminución de la macrófita *Egeria densa*, especie introducida de alta abundancia y la emigración de

---

<sup>2</sup> CONAF. Ley de bosque nativo. [Disponible en <http://www.conaf.cl/cms/editorweb/normativa/Ley-bosque-nativo.pdf>. Revisado el 9 de julio de 2012]

un gran número de cisnes de cuello negro (*Cygnus melancorypha*), eventos ecológicos de gran impacto socioambiental.

Luego de este episodio en el país se comenzó a cuestionar la efectividad de los instrumentos de gestión de los recursos ambientales que se habían desarrollado al año 2004. Al mismo tiempo, las prácticas desarrolladas por la actividad silvoagropecuaria comenzaron a ser vistas con desconfianza, lo que dio impulso a la implementación de nuevos instrumentos entre los que destaca la estrategia nacional de gestión integrada de cuencas hidrográficas y las normas secundarias de calidad de agua, entre otras.

Para el área en cuestión, en el año 2006, se crea un plan de gestión para este ecosistemas titulado Plan Integral de Gestión Ambiental (PIGA) del Humedal de Río Cruces (CONAF, 2006). También se impulsan otras iniciativas ambientales, como la formulación de la norma secundaria de calidad de agua para el Río Cruces, en el 2005 y/o el plan regional de ordenamiento territorial del país en la Región de los Ríos. Sin embargo, estos planes aún no se llevan a cabo, ni existe ninguna acción integrada para la conservación y/o recuperación de este ecosistema.

La no implementación de estos planes tiene consecuencias nacionales como internacionales, debido a que el humedal del río Cruces fue declarado como Santuario de la Naturaleza e Investigación Científica “Carlos Anwandter” mediante D.S. N° 2734 del

3 de Junio de 1981 del Ministerio de Educación<sup>3</sup>, integrado como primer sitio Ramsar del país y el único sitio Ramsar del país incluido en el Registro de Montreux desde 2006. Este registro enlista los humedales en los que se han producido o pueden producirse cambios ecológicos debido al desarrollo tecnológico, contaminación u otro tipo de intervención antrópica<sup>4</sup>.

Por tanto, con el desarrollo de este seminario de título se quiere contribuir, teórica y prácticamente, a la discusión sobre herramientas y visiones actuales para la conservación de ecosistemas vulnerables como es el caso de los humedales. Este seminario propone un modelo conceptual para la gestión integrada del mismo acoplado un enfoque ecosistémico y herramientas de sistemas de información geográfica, para definir y monitorear áreas de interés. Para ello se identificaron y caracterizaron formaciones vegetales a través del uso de SIG, se identificaron los procesos y funciones de estos y se determinaron cuales influyen en el estado ecológico actual del ecosistema.

---

<sup>3</sup> Centro de Estudios Agrarios y ambientales [Disponible en <http://www.ceachile.cl/Cruces/Conservacion.htm>. Revisado el 30 de agosto de 2011]

<sup>4</sup> Registro de Montreux [Disponible en [http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-documents-montreux-montreux-record/main/ramsar/1-31-118%5E20972\\_4000\\_2](http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-documents-montreux-montreux-record/main/ramsar/1-31-118%5E20972_4000_2). Revisado el 20 de julio de 2012]

## **Objetivos**

### **General:**

Explorar el uso del sensoramiento remoto y herramientas SIG para el desarrollo de estrategias de conservación y gestión del Humedal de Río Cruces.

### **Específicos:**

- Identificar formaciones vegetacionales de los sistemas terrestres aledañas al Humedal del Río Cruces por medio del análisis de uso de suelo sobre la base de imágenes multiespectrales (Landsat TM).
- Clasificar las funciones y procesos ecosistémicos de las formaciones vegetales existentes en el lugar de estudio mediante un análisis teórico (expertos)
- Proponer una metodología SIG que sirva para incluir o privilegiar áreas que se encuentren en un estado de vulnerabilidad ecológica en la subcuenca del Humedal de Río Cruces.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Marco conceptual

#### 2.1.1 Funciones y procesos ecosistémicos

Una función ecosistémica, de acuerdo a De Groot et al. (2002), se define como “la capacidad de los procesos y componentes naturales de proveer bienes y servicios que satisfagan necesidades humanas directa o indirectamente”. Cada función es el resultado de los procesos naturales del subsistema ecológico del cual es parte (Fig. 1). Los procesos ecosistémicos son, a su vez, el resultado de complejas interacciones entre componentes bióticos y abióticos del ecosistema a través de fuerzas universales de materia y energía.

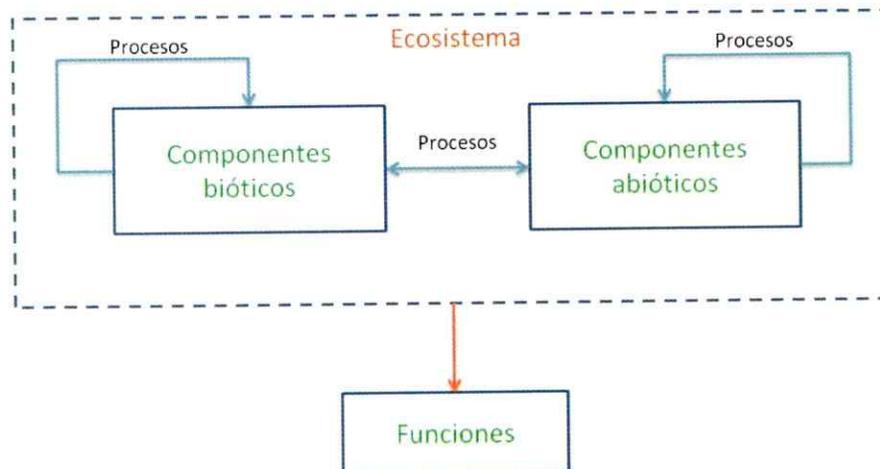


Figura 1. Esquema de la interacción de componentes bióticos y abióticos mediante procesos ecosistémicos, cuyo resultado es la generación de funciones.

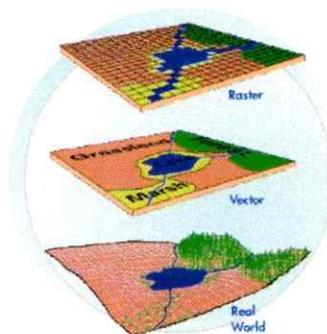
En nuestro país, específicamente en la región de Los Ríos, uno de los principales ecosistemas es el bosque templado lluvioso, el cual soporta funciones ecosistémicas como el reciclaje de nutrientes, la protección del suelo, control hidrológico, regulación del clima y conservación de la biodiversidad. Estas son fuente de bienes y servicios ecosistémicos base de diversas actividades económicas como la producción de agua potable, ecoturismo y generación de productos madereros y no madereros. El hecho de considerar al bosque nativo solo como fuente de madera y como tierras de expansión agrícola y ganadera y su reemplazo durante las últimas décadas por especies exóticas de rápido crecimiento, causa impactos negativos sobre los servicios ecosistémicos, provocando aumento en la erosión del suelo y desbalances hídricos afectando la calidad de las aguas (Oyarzún et al., 2004 – 2005).

### **2.1.2 Sistemas de información geográfica (SIG).**

Los sistemas de información geográfica constituyen una herramienta de análisis de información georreferenciada y constan de un sistema de hardware, software y procedimientos de manejo de bases de datos, además de un grupo interdisciplinario quien los administra y opera. Están diseñados para soportar la captura, administración, manipulación y análisis de datos u objetos referenciados espacialmente y para resolver problemas complejos de planificación y administración. Un objeto en un SIG es cualquier elemento relativo a la superficie terrestre que presenta una dimensión física (alto - ancho - largo) y una localización espacial o una posición medible en el espacio

relativo a la superficie terrestre (Carmona & Monsalve, 1999). Según Moreira (1996). Un SIG se caracteriza por trabajar con datos referenciados respecto a coordenadas geográficas. Este dato es un elemento ubicado en el espacio mediante un sistema de coordenadas, el cual puede ser descrito a través de una serie de atributos o características que permiten conocer su relación con respecto a otros elementos. Este conjunto de datos espaciales asociado a una localización específica puede ser de utilidad para toma de decisiones.

La información de un SIG tiene dos formatos: el formato celular o “raster” y el formato vectorial. El formato raster consiste en una grilla o una malla de rectángulos o cuadrados a los que se les denomina células o retículas, donde cada una posee información alfanumérica asociada que caracteriza a la superficie geográfica que involucra. Este es el caso de las imágenes captadas por satélites. Por otro lado, el formato vectorial representa la información por medio de pares ordenados de coordenadas. De este modo, una zona geográfica se representa iconográficamente por medio de puntos, líneas y polígonos (Fig. 2).



**Figura 2. Representación de una porción de territorio en formato vectorial y en formato raster. (Adaptado de Carmona & Mosalve, 1999).**

### **2.1.3 Modelación ecológica.**

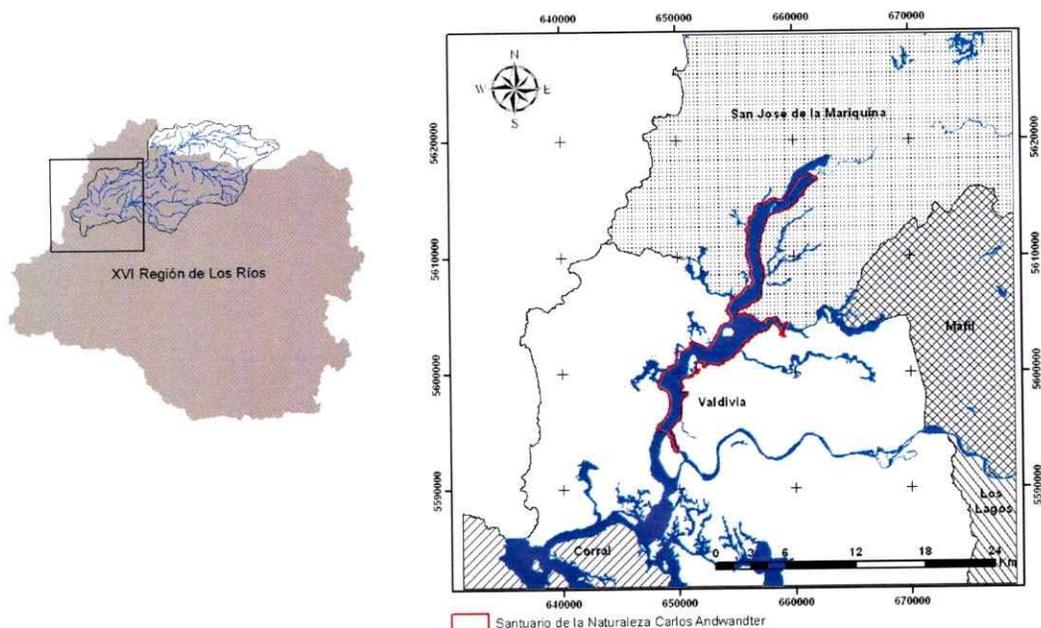
Un modelo en ciencia es un esquema teórico de un sistema o de una realidad compleja que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento (Marín & Delgado, 1998). Construir un modelo consiste en determinar las partes del sistema, escogiendo las relaciones de interés y los mecanismos mediante los que interactúan. Todo esto se representa esquemáticamente por medio de componentes e interacciones (Heemskerk et al., 2003).

Dado a que existen diferentes definiciones de un ecosistema, dependiendo de la base conceptual que se emplee y de la percepción del observador, no existe un modelo correcto, sino que diferentes constructos del mismo (Marín & Delgado, 2007). Además, un modelo conceptual puede ser una propuesta por parte de un grupo de investigadores sobre su visión de un ecosistema dado, para que una comunidad de actores sociales lo reciba y discuta.

En este seminario de título se utilizaron modelos conceptuales para explicar la estructura y dinámica de los procesos de los sistemas que componen la subcuenca del humedal del Río Cruces y para proponer un esquema de gestión de áreas de conservación.

## 2.2 Área de estudio

El área de estudio estuvo circunscrita a la subcuenca del humedal del río Cruces (Fig. 3). Debido a la extensión de ésta, se trazó una línea imaginaria para determinar una zona buffer o área de influencia, caracterizada por un paisaje heterogéneo compuesto por varias formaciones vegetacionales. El área de la zona de estudio equivale a 1796 Km<sup>2</sup>, tomando como referencia el tamaño de una imagen Landsat 7 ETM+. El Santuario de la Naturaleza del Río Cruces se ubica al norte de la ciudad de Valdivia con coordenadas 39° 41' S 73° 11' O. Su superficie alcanza a 4877 ha (Di Marzio & McInnes, 2005). Posee una extensión de 25 Km y un ancho promedio de 2 Km. Pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Cruces e incluye los lechos, islas, riberas y bañados de los ríos Cruces y Chorocamayo.



**Figura 3. Lugar de estudio. El santuario se ubica en la XIV región de los Ríos entre las comunas de Valdivia y San José de la Mariquina. El área de la zona de estudio equivale a 1796 Km<sup>2</sup>**

De acuerdo a la clasificación de Köppen (1948, citado en Muñoz-Pedrerros, 2003), el área del humedal se encuentra en dos tipos climáticos. En la denominada “cuenca o depresión de San José de Mariquina”, a la sombra del cordón occidental de la cordillera de la Costa, se ubica el tipo climático templado cálido con menos de cuatro meses secos (Cfsb1) afectando la zona norte del humedal. El sector sur, cercano a la ciudad de Valdivia, se encuentra influenciado por el tipo climático templado lluvioso con influencia mediterránea (Cfsb2). Las precipitaciones en el área del humedal son superiores a los 2000 mm anuales. El régimen pluviométrico consta de concentración de lluvias en invierno y ausencia de un periodo seco. La temperatura media promedio anual para la zona es de 11,5 °C y la humedad relativa promedio anual es del 82% (Muñoz-Pedrerros, 2003).

En la región hay tres grupos de suelos (trumaos, ñadis y rojos arcillosos) formados a partir de ceniza volcánica que se ha depositado sobre diferentes sustratos: sedimentos glaciofluviales en la depresión intermedia, rocas metamórficas en la cordillera de la Costa y granitoides y andesitas en la cordillera de los Andes. Cerca del humedal hay dos tipos predominantes de suelos; aquellos desarrollados a partir de ceniza volcánica depositada sobre el complejo metamórfico de la cordillera de la Costa (rojos arcillosos) y suelos trumaos denominados “Cancagua”, que están formados por cenizas volcánicas sobre planos fluvio-glaciales y fluvio-marinos en la depresión de San José. Los suelos rojos arcillosos se distribuyen al occidente del humedal y al sur del río Pichoy sobre complejas pendientes de 15 – 43%, mientras que los suelos tipo Cancagua se

encuentran en una tipografía plana de 1 – 3%, se caracterizan por ser de estructura fina, bien drenados y son los más comunes alrededor del humedal y al noroeste de él. Los suelos trumaos alternan con suelos ñadis, los cuales a diferencia de los trumaos poseen mal drenaje. Estos suelos se forman por el depósito de cenizas volcánicas sobre sustrato endurecido que forma una capa impermeable denominada localmente fierrillo. Los ñadis son humedales (Muñoz-Pedrerros, 2003).

### 2.2.1 Descripción ecológica del humedal

El humedal posee cauces de aguas tranquilas y profundas, y con sustrato fangoso constituido por arena, limo y abundante sedimento orgánico. Estos ambientes lóticos están bordeados por bañados, lugares inundados permanentemente con aguas someras, de mucho sedimento orgánico en el sustrato y con una abundante vegetación acuática y palustre. Los bañados, tienen mayor extensión que los mismos cauces, se formaron por inundación de vegas agrícolas y ganaderas, que descendieron casi 2 metros durante los sismos que asolaron el centro-sur de Chile, en el mes de Mayo de 1960. Ellos están bajo la influencia periódica de aguas oceánicas por acción de las mareas y son mantenidos como tales por la abundante precipitación de la región (San Martín et al., 1993)

Entre la vegetación del humedal, se distinguen principalmente dos tipos de plantas, las acuáticas como el luchecillo (*Egeria densa*) y el huiro (*Potamogeton spp.*),

que presentan la mayor parte de su cuerpo sumergido, y las plantas palustres como la totora (*Scirpus californicus*) y el junco (*Juncus procerus*), que viven arraigadas al fondo y presentan la mayor parte de su cuerpo al aire libre (Muñoz-Pedrerros, 2003).

Entre los animales que habitan en el humedal y en sus alrededores se incluyen diecisiete especies de peces, ocho de anfibios, ciento tres de aves y diecinueve de mamíferos. Destacan el cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*), el huillín (*Lontra provocax*) y el coipo (*Myocastor coypus*) (Muñoz-Pedrerros, 2003).

El humedal actualmente se encuentra en un estado intermedio entre las condiciones de aguas claras y turbias (Marín et al., MS). La condición trófica del Humedal varía entre oligotrófico a mesotrófico. El estado “trófico” de un sistema acuático expresa la relación entre nutrientes y materia orgánica del cuerpo de agua (Galvez-Cloutier & Sánchez, 2007).

### 2.2.2 Descripción del entorno del humedal

Las formaciones vegetacionales son unidades definidas sobre la base de criterios fisionómico-ecológicos, formadas por comunidades vegetales tipo (Gajardo, 1994). Es posible identificarlas y caracterizarlas a través del análisis de una imagen satelital debido a que poseen la misma señal espectral. De acuerdo a la clasificación de Gajardo (1994)

las formaciones vegetales presentes para la zona de estudio son: a) Bosque caducifolio del sur, que ocupa la depresión intermedia y las laderas bajas de ambas cordilleras. Ha sido reemplazado casi en su totalidad por cultivos y praderas, encontrándose en condiciones marginales y en un estado muy modificado. En su composición florística destacan las especies de tipo laurifolio; b) Bosque laurifolio de Valdivia, que ocupa ambas vertientes de la cordillera de la Costa. Destaca la presencia de especies como el olivillo (*Aextoxicon punctatum*) y ulmo (*Eucryphia cordifolia*). Sus condiciones más favorables de temperatura, especialmente estivales, permiten una mayor diversidad florística y la penetración en las vertientes orientales de especies pertenecientes al bosque caducifolio, especialmente aquellas de los bosques de roble (*Nothofagus obliqua*) (Anexo 1).

Los colonos al talar y quemar la cubierta original de bosque, habilitaron terrenos para la agricultura y ganadería, introduciendo especies forrajeras europeas para la alimentación del ganado, constituyendo así praderas permanentes o perennes. Estas especies, gracias a su gran amplitud ecológica, pueden tolerar diferentes condiciones ambientales permitiendo su establecimiento, lo que junto a la presión de pastoreo a la que están sometidas tiene como consecuencia el que haya logrado un equilibrio con el ambiente (Montaldo, 1973).

Producto de la explotación forestal y de políticas de fomento a plantaciones de especies exóticas de rápido crecimiento como pino radiata o pino insigne (*Pinus radiata*) y eucaliptus (*Eucalyptus spp.*), es que existen extensas superficies de este tipo de plantación. Se extienden principalmente hacia el lado occidental, en lo que corresponde a la cordillera de la Costa. La composición de estos bosques muestra una formación forestal siempre verde de renovales en los sectores más inmediatos al santuario, y entre ellos, áreas con plantaciones de exóticas. Bosques nativos adultos sólo existen en las partes más altas de la cordillera de la Costa (CONAF, 1999).

En la actualidad y producto de las actividades económicas realizadas en la zona, la vegetación terrestre que rodea el santuario corresponde a la que cubre la depresión intermedia de la región valdiviana. Es decir, rodales remanentes de los bosques originales de Roble-Laurel-Lingue (*Nothofago-Perseetum linguae*), de Olivillo (*Lapagerio-Aextoxiconetumpunctatii*), parque de Roble-Laurel, resultante de la degradación del primero y praderas antropogénicas de chépica-hierba de San Juan (*Hyperico- Agrostidetum capillariae*), mantenidas como tales, con pastoreo de ganado permanente. En estas zonas también se mantienen campos de cultivo. Además, a orillas de los caminos y en las cercas que dividen los potreros, se forman matorrales de zarzamora (*Alstroemerio-Aristoteliatum chilensis*). La mayor proporción de terrenos agrícolas actualmente se encuentran ubicados al lado noreste del humedal, al norte de la confluencia con el río Pichoy y a lo largo de la ribera norte de este mismo río (CONAF, 1999; Muñoz-Pedrerros, 2003).

## **2.3 Metodología**

### **2.3.1 Caracterización de los ecosistemas terrestres a través del análisis de imágenes satelitales**

El estudio del humedal y los ecosistemas terrestres que lo rodean se realizó en base a una imagen satelital. La imagen utilizada fue obtenida del portal Internet del Servicio Geológico de Estados Unidos (<http://glovis.usgs.gov/>), tomada por el satélite Landsat 7 ETM+ (resolución = 30 x 30 m) con fecha 9 de Enero de 2011(Fig. 4).

#### Pre-procesamiento de la imagen

La imagen satelital fue calibrada y corregida por medio del software ENVI 4.8. La calibración de una imagen Landsat consiste en convertir los valores digitales de la imagen a radianza espectral usando los valores de irradianza solar exoatmosférica publicados por el centro Goddar de la NASA (Landsat 7, 2009). La imagen calibrada fue luego corregida por medio del algoritmo QUAC (Quick Atmospheric Correction) disponible en ENVI 4.8. Este algoritmo usa la información existente en las diversas bandas de la imagen para corregirla contra efectos tales como vapor de agua y aerosoles atmosférico, obteniendo una reflectancia de la superficie razonablemente exacta (ENVI, 2009)

Las imágenes Landsat 7 posteriores al 31 de Mayo de 2003 tienen un problema de bandeo debido a la falla de corrector de escaneo (SCL) del satélite. Por ello todas las imágenes posteriores a esa fecha vienen con bandas negras intercaladas entre los datos. Para resolver este problema se usó la rutina "Landsat Gapfill" disponible para Envi 4.8 y basada en las técnicas sugeridas por Scaramuzza et al. (2004).

### Clasificación e identificación de sistemas

El proceso de clasificación consiste en agrupar píxeles en un número finito de clases o categorías individuales (ERDAS IMAGINE®, 2001). Si un píxel satisface un conjunto dado de criterios, éste es asignado a la clase correspondiente a tales criterios. Existen dos maneras de clasificar píxeles en categorías:

- Supervisada
- No supervisada

La clasificación supervisada es controlada por el usuario. Éste selecciona píxeles que representen un cierto patrón de interés que se puede identificar con la ayuda de otras fuentes. Por otro lado, la clasificación no supervisada es automatizada. Permite al usuario especificar parámetros que el computador utiliza como guía para descubrir patrones estadísticos en los datos.

En este seminario se utilizó la clasificación supervisada para la identificación de sistemas existentes en la subcuenca del Humedal del Río Cruces, utilizando el software ERDAS IMAGINE 9.2. Para clasificar y validar los sistemas observados en las imágenes satelitales se tomaron datos en terreno durante el mes de Noviembre del 2011. Las rutas de muestreo se generaron por medio de imágenes disponibles en Google Maps. Con fecha 25 de Noviembre de 2011, se muestreó con GPS Garmin C60 a lo largo de dos rutas asfaltadas en el área de estudio. Posteriormente se añadieron datos tomados en Enero de 2012 durante el desarrollo de una de las salidas a terreno del proyecto Fondecyt 1110077 (Fig. 4). Las coordenadas se traspasaron a una tabla en Excel y posteriormente a ArcGIS 9.3.

El proceso de clasificación supervisada consiste en asignar una categoría dada a un grupo de píxeles y aplicarla a la imagen. La visualización de la imagen satelital se hizo usando la combinación de bandas RGB 4, 3, 2 que sirve para analizar la densidad y vigor de la vegetación (Fernández-Coppel & Herrero, 2001). La clasificación se hizo por medio de la regla paramétrica de máxima verosimilitud. Para evaluar la distancia entre clases a nivel espectral, se aplicó el criterio de separabilidad utilizando el algoritmo de divergencia transformada, cuyos valores van de 0 a 2000 indicando la mínima y máxima separabilidad respectivamente. Valores sobre 1700 se consideran como buena separabilidad y valores menores a 1700 indican una separabilidad pobre (ERDAS, 1999). Una vez clasificada la imagen, se transformó a grilla en formato ArcGIS de forma de usar este último software para analizar la imagen resultante.

De acuerdo a lo observado y muestreado en terreno, se determinaron inicialmente las siguientes categorías: urbano, pradera verde con pasto, terreno agrícola verde cultivado, terreno agrícola café para cultivo, plantación de pino, plantación de eucalipto, bosque nativo, bosque mixto, vegetación herbácea del humedal y agua (Anexo 2). Posteriormente estas categorías se reunieron para los propósitos de este trabajo en bosque nativo, plantación forestal, bosque mixto, praderas y cultivos, urbano - sin vegetación, humedal, vegetación herbácea y río.

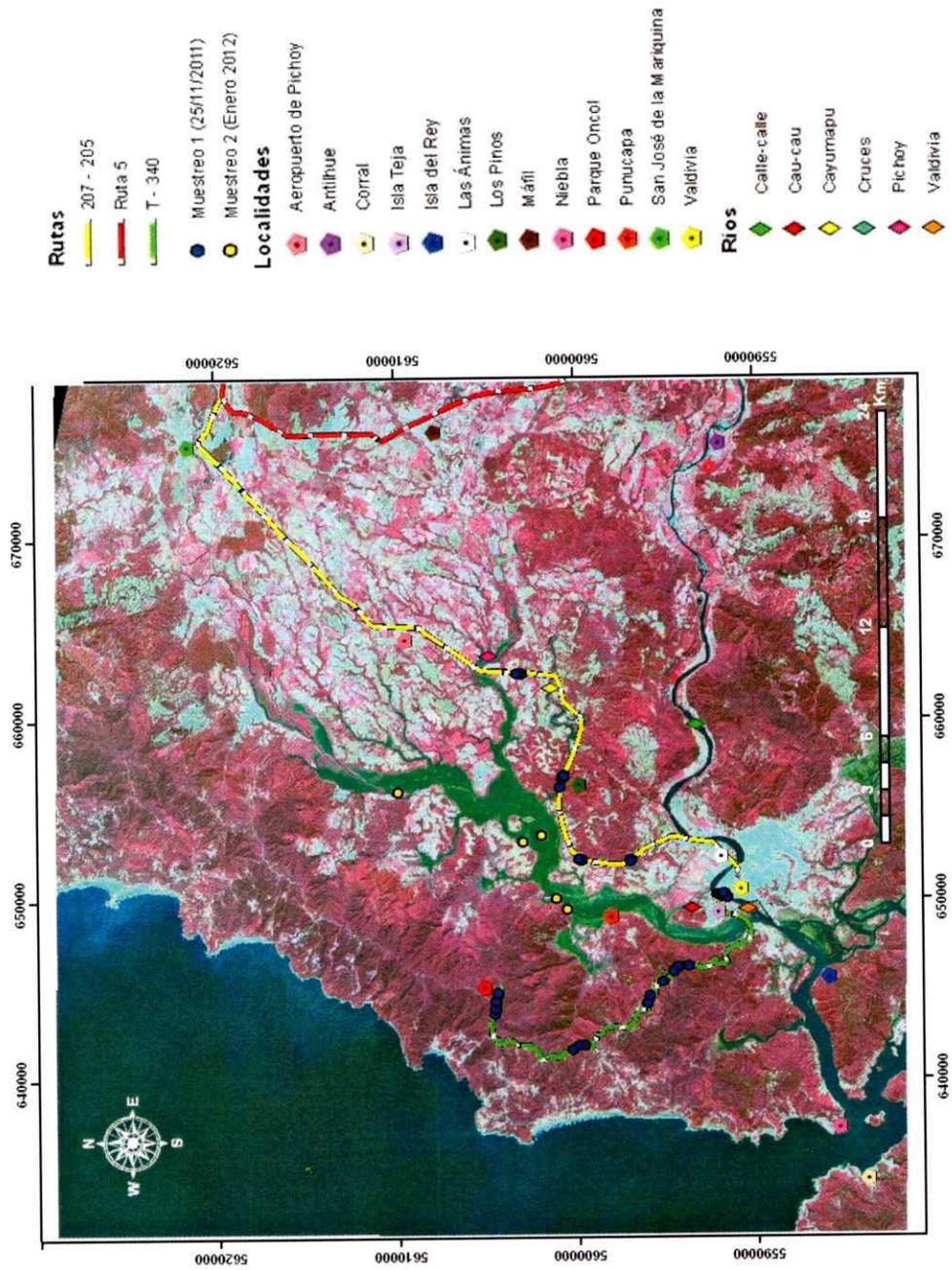


Figura 4. Imagen Landsat 7 ETM+ utilizada junto a las rutas y puntos de muestreo. Se muestran además localidades y ríos principales.

## Base de datos de CONAF

Se dispuso de coberturas (archivos vectoriales) generados por CONAF. Una de ellas corresponde al catastro del bosque nativo realizado entre los años 1994 y 1997 (CONAF – CONAMA, 1999) y otro fue obtenido en Marzo de 2012 en la oficina central de CONAF, cuya data corresponde a la actualización del catastro anterior publicada en el año 2008 y que se realizó para la región de Los Ríos en el año 2006. Estas cartografías son resultado del proyecto “Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile” (CONAF 2011). En ellas la descripción de la vegetación se desarrolla desde el punto de vista fisionómico, vale decir, presentación de la vegetación con base a su estructura y composición botánica, desarrollada por la escuela fitoecológica L. Emberger del Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS) de Montpellier Francia. El método se denomina "Cartografía de Ocupación de Tierras" (COT)<sup>5</sup>. Así, se obtiene una representación objetiva de la vegetación nativa en su estado actual considerando los siguientes atributos: formación vegetal (pradera, matorral, bosque), especies dominantes y grado de artificialización o transformación por el hombre. En las áreas no cubiertas por vegetación nativa o plantaciones el uso actual del suelo reemplaza a la formación vegetal.

Las categorías de la base de datos de CONAF (Anexo 3), incluyen por ejemplo “bosque nativo adulto denso”, “bosque nativo adulto abierto”, “bosque nativo achaparrado”, etc., las cuales para fines de este seminario de título fueron reunidas en una sola categoría de “bosque nativo”.

---

<sup>5</sup> CONAF. Metodología [Disponible en <http://www.conaf.cl/conaf/seccion-metodologia.html>. Revisado el 10 de agosto de 2012]

## Edición de la imagen

La grilla generada por medio de la clasificación supervisada se editó por medio de ArcGIS 9.3. En primer lugar, se eliminaron las celdas correspondientes al mar debido a que se puede incurrir en error al calcular áreas de las clases de interés. Para ello se utilizó como “máscara” la información de CONAF 2008. Por otro lado, las bases de datos de CONAF fueron reducidas espacialmente para adaptarlas al tamaño de la imagen Landsat, calculando las superficies de cada categoría, tanto de la grilla como de la base de datos CONAF, en Km<sup>2</sup>.

### **2.3.2 Modelo conceptual**

El modelo conceptual construido describe los componentes e interacciones del ecosistema de la subcuenca del Río Cruces y de la zona buffer. Este representa, en base a una aproximación proceso-funcional (O'Neill et al., 1986), de forma simplificada los procesos y funciones ecosistémicas. Es decir, el modelo considera los procesos y funciones que aportan positiva o negativamente a la mantención de procesos y funciones ecosistémicas del humedal.

Así tenemos que los componentes son los sistemas considerados como grandes reservorios donde tienen lugar en forma intrasistémica e intersistémica (Delgado, 1996), procesos ecosistémicos importantes, como los ciclos biogeoquímicos, así como el ciclo del agua dulce. Los sistemas identificados en el

modelo fueron: a) bosque nativo, b) praderas y cultivos, c) plantación forestal y d) humedal.

La identificación de procesos ecosistémicos se realizó en base a bibliografía, siguiendo la clasificación de De Groot et al. (2002). Para este seminario, se consideraron las funciones de regulación, hábitat y producción, pues son las que aportan ecológicamente a la mantención de los procesos para el humedal (Anexo 4). Una vez que se obtuvo la clasificación supervisada y se identificaron los principales sistemas ecológicos que rodean al humedal, se les asignaron los procesos ecosistémicos teóricos asociados a cada uno de estos.

Los sistemas se identificaron, cualitativamente, desde el punto de vista de procesos positivos (+) y negativos (-) que influyen en la mantención del humedal (procesos y funciones). Esta evaluación permitió completar una matriz de procesos/sistemas, donde los signos asignados indican influencia positiva, negativa o nula. Cabe destacar, que la asignación de signos (+;- y 0) se basó en el conocimiento de la literatura, del análisis SIG y del ecosistema en estudio.

### **2.3.3. Identificación de zonas vulnerables**

La identificación de zonas vulnerables se hizo siguiendo un criterio de protección de suelo según la vegetación presente, su uso y la influencia que esto tiene sobre la mantención de estado del humedal. La cubierta vegetal cumple un importante rol en la protección del suelo, protegiéndolo de la erosión, de modo que a mayor sea la cubierta vegetal, menor será la tasa de erosión. Según Guerrero-Campo

(2005), varios estudios hablan sobre la relevancia que tiene la morfología de la raíz en aumentar la estabilidad del suelo frenando los movimientos en masa, mejorando su infiltración y estructura. Del mismo modo, la estructura aérea de la planta juega un importante papel frente a procesos erosivos, ya que frena la energía cinética de la lluvia y del viento, influyendo en la escorrentía e hidrología del lugar. De esta forma, se estableció un criterio de protección de suelo que va desde los sectores que son menos vulnerables a ser erosionados a los más vulnerables según la vegetación predominante.

En este seminario de título se desarrolló una metodología cualitativa para determinar zonas o áreas de vulnerabilidad debido a que no se pudo obtener los datos para calcular la erosión potencial de la cuenca a través del índice RUSLE (Oñate-Valdivieso 2004). Por tanto, se estableció un índice de vulnerabilidad relacionando la capacidad de retención de nutrientes y compactación del suelo según el tipo de vegetación o de sistemas vegetacionales existentes en el área de estudio (Villegas, 2004). El grado de vulnerabilidad está dado por aquellas áreas que según el tipo de vegetación son más susceptibles a erosión

#### **2.3.4 Desarrollo de un modelo de gestión**

Los modelos de gestión se basan en objetivos trazados, por ejemplo, en un plan de conservación. La gestión debe ser un proceso permanente y continuo orientado a administrar intereses, expectativas y recursos relacionados con la Política Ambiental Vigente (Palma & Cobo, 1997). Esta no solo debe contar con

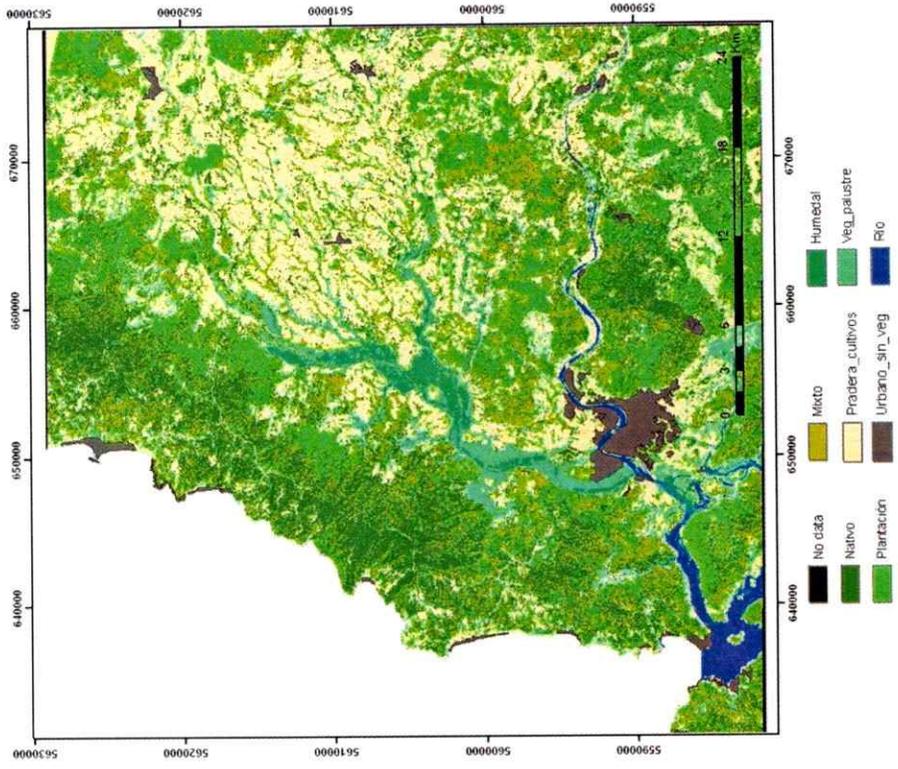
directrices administrativas y económicas, sino también deben de contar con enfoques científicos-técnicos para que estos puedan cumplir con los objetivos trazados. Por tanto, se diseñó un modelo conceptual de gestión que incluye un enfoque interdisciplinario, estructurado en base al uso de herramientas de sensoramiento remoto y sistemas de información geográfica y al aporte del enfoque ecosistémico. Los sistemas de información geográfica y la información que estos proveen son de gran utilidad para determinar las características de extensas áreas, de un paisaje o de ecosistemas como es el caso de las cuencas hidrográficas. A través del uso de sistemas de información geográfica se identificaron los sistemas de mayor área, los procesos y funciones ecosistémicas que estas poseen y su influencia en la mantención de procesos y servicios ecosistémicos del humedal. Por tanto, el modelo generado considera los procesos ecosistémicos que permiten que los diversos sistemas que conforman una cuenca hidrográfica interactúen para mantener su estructura y función.

### 3. Resultados

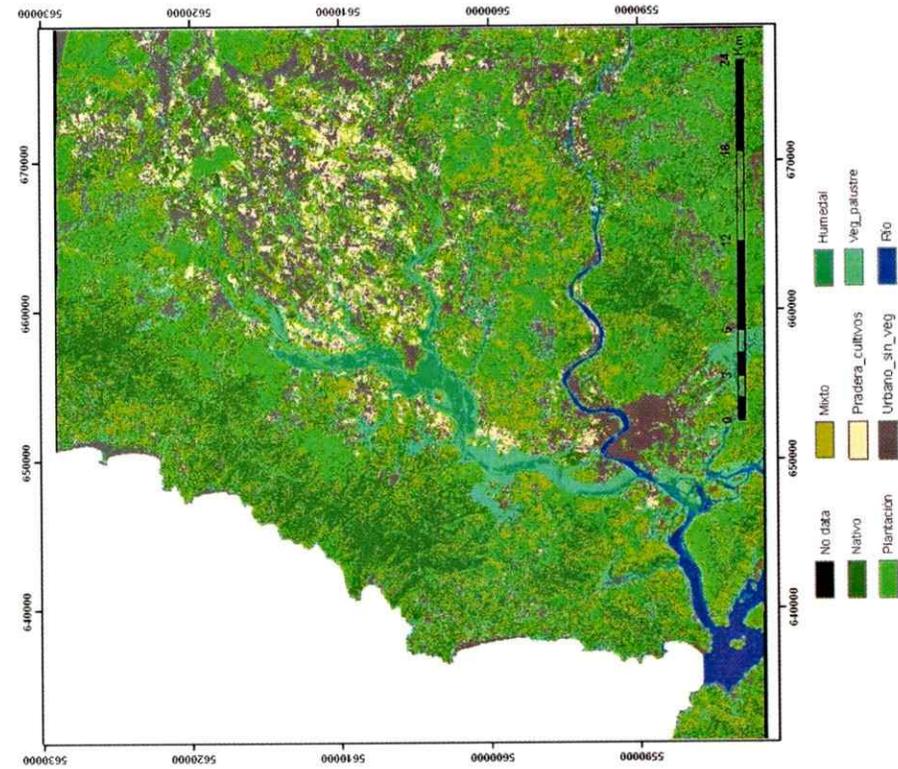
#### 3.1 Caracterización de los sistemas ecológicos terrestres.

A través de la clasificación supervisada, se identificaron los principales sistemas terrestres que rodean el humedal y que forman parte del área de estudio. Los sistemas son bosque nativo (incluyendo bosque mixto), plantaciones forestales y praderas y cultivos (Fig. 5; Tabla 1). Estos se definieron mezclando información raster (imagen) y vectorial (uso de suelo) existentes. Dado a que el satélite recibe la misma señal espectral desde una zona urbana que de un terreno sin vegetación, se recurrió a la cobertura de CONAF correspondiente a la actualización de 2006 para la región con el fin de diferenciarlos de las praderas. Los sistemas se describen a continuación:

- Bosque nativo: Sistema compuesto principalmente por especies arbóreas nativas. Se presenta principalmente en la zona alta de la cordillera de la Costa y se encuentra como bosque mixto en la ladera poniente del humedal y en la depresión intermedia, además como parque Roble-Laurel-Lingue en medio de praderas (ladera oriente del humedal). Incluye renoval y vegetación arbustiva.
- Plantación forestal: Sistema compuesto principalmente por las especies introducidas de rápido crecimiento *Pinus radiata* y *Eucaliptus spp.* Corresponden a predios y fundos de uso forestal, además de zonas donde estas especies se asilvestraron.
- Praderas y cultivos: Se caracteriza por ser un sistema de vegetación heterogénea, variando de suelo desnudo a terrenos destinados principalmente para forrajeo de ganado y cultivos.



(a)



(b)

**Figura 5. (a) Resultado de la clasificación supervisada. Las clases se agruparon en 8 categorías: Nativo, Plantación, Mixto, Pradera-cultivos, Urbano-sin vegetación, Río, Humedal y Vegetación palustre. (b) Clasificación supervisada corregida de acuerdo a uso de suelo. Se añadió la cobertura de urbano y de zonas sin vegetación perteneciente a la base de datos CONAF 2008 (comprende las categorías de ciudades-pueblos-zonas industriales, afloramientos rocosos, playas y dunas y otros terrenos sin vegetación).**

**Tabla 1. Análisis de separabilidad. Índices de divergencia transformada para las ocho categorías estudiadas.**

	B. N.	P. F.	B. M.	P. y C.	Urb y S/veg	Rio	Hum	Veg. Pal.
<b>B. N.</b>	---	1756	1388	2000	2000	2000	2000	2000
<b>P. F.</b>		---	1889	2000	2000	2000	2000	2000
<b>B. M.</b>			---	2000	2000	2000	2000	2000
<b>P y C</b>				---	2000	2000	2000	2000
<b>U – S/veg</b>					---	2000	2000	2000
<b>Rio</b>						---	1991	2000
<b>Hum</b>							---	2000
<b>Veg. Pal.</b>								---

B.N: Bosque nativo; P.F: Plantación forestal; B.M.: Bosque mixto; P. y C.: Praderas y cultivos; Urb y S/veg: Urbano y sin vegetación; Hum: Humedal; Veg. Pal.: Vegetación palustre

### 3.2 Cálculo de áreas y cambio de uso de suelo

Antes de identificar los procesos ecosistémicos de los sistemas que conforman la zona circundante al Humedal del río cruces, se calcularon las áreas de las categorías identificadas mediante la clasificación supervisada (Tabla 2). Posteriormente, éstas se agruparon para conformar los tres sistemas terrestres de interés además del humedal. De esta forma la categoría de “bosque mixto” se agregó a “bosque nativo”, la categoría de “vegetación palustre” se añadió a “humedal”, y “ríos”, “urbano/sin vegetación” y “no data” conformaron la categoría “otros” (Fig. 6). El área total en estudio corresponde a 1796,2 Km<sup>2</sup>

**Tabla 2. Áreas de las categorías resultantes de la clasificación supervisada.**

Categorías	Clasificación supervisada	
	Área [Km <sup>2</sup> ]	Cobertura (%)
Praderas y cultivos	478,9	26,7
Bosque nativo	415,8	23,1
Bosque mixto	365	20,3
Plantación forestal	326,9	18,2
Vegetación palustre	93,7	5,2
Humedal	36,9	2,1
Urbano/Sin vegetación	35,3*	2
Rio	27,8	1,5
No data	15,9	0,9

(\*) Dato usado de las coberturas de CONAF del catastro de 2006, correspondiente “Ciudades-Pueblos-Zonas industriales” y a categorías carentes de vegetación como “Playas y dunas”, “Otros terrenos sin vegetación” y “Afloramientos rocosos”



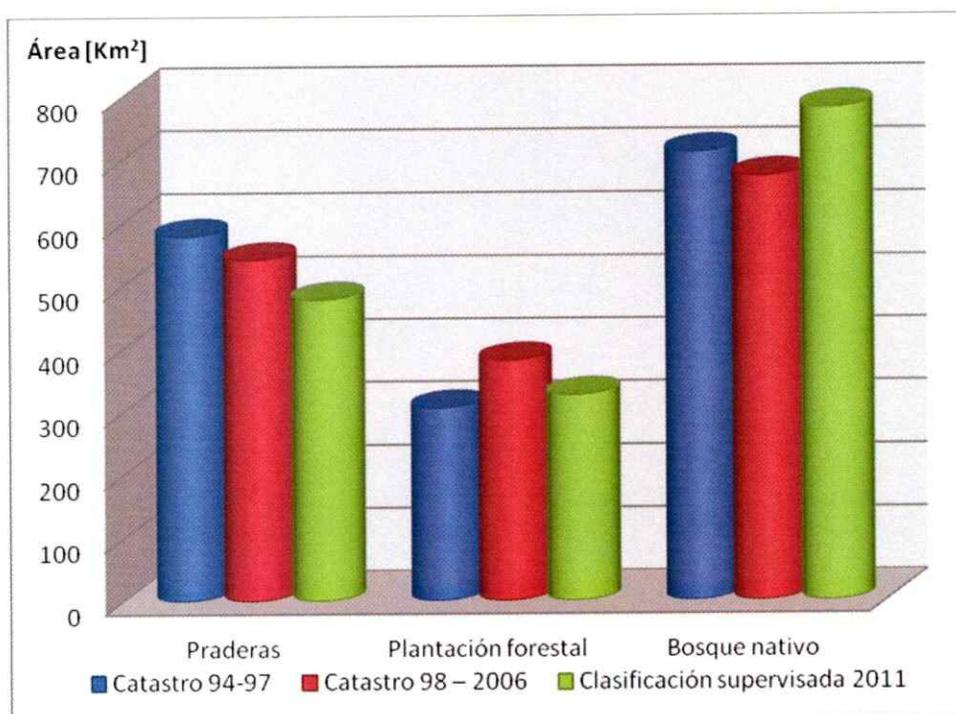
Figura 6. Proporción porcentual de los sistemas identificados en la clasificación supervisada.

Posteriormente, se utilizó los datos provenientes de las coberturas de CONAF, acotados al área de estudio, para compararlos con lo obtenido en la clasificación supervisada y analizar la variación de superficie de los sistemas de interés. Puesto a que el fin de este trabajo es enfocarse en los sistemas terrestres, las categorías de CONAF se reunieron para conformar los sistemas “bosque nativo”, “plantación forestal” y “praderas y cultivos” establecidos en la clasificación supervisada. Bosque nativo está conformado por las categorías de CONAF “renoval”, “bosque nativo”, “bosque nativo–renoval” y por la subcategoría de bosque mixto compuesta por “bosque nativo–exóticas”, “bosque nativo–plantación” y “matorral”. Plantación forestal contiene a “plantación”, “bosques de exóticas asilvestradas” y “protecciones”. Praderas y cultivos incluye a “terrenos agrícolas”, “rotación cultivo–pradera”, “praderas perennes” y “matorral–pradera” (Tabla 3; Fig.

7)

**Tabla 3. Superficies de los sistemas de interés de acuerdo a CONAF y a la clasificación supervisada. Se presenta además la variación porcentual de superficies según los datos de CONAF**

	Catastros CONAF Área [Km <sup>2</sup> ]		Variación CONAF Área [Km <sup>2</sup> ]	Clasificación supervisada (2011) Área [Km <sup>2</sup> ]	Variación respecto a 2006 Área [Km <sup>2</sup> ]
	94-97	2006			
<b>Praderas y cultivos</b>	580,13	542,73	-37,4	478,9	- 63,83
<b>Plantación forestal</b>	306,74	381,97	75,23	326,9	- 55,07
<b>Bosque nativo</b>	711,67	673,44	-38,23	780,8	107,36



**Figura 7. Gráfico de áreas de los sistemas praderas, plantación forestal y bosque nativo obtenidos en el Catastro realizado entre los años 1994 y 1997, su actualización de 2006 y los datos obtenidos en la clasificación supervisada de la imagen satelital correspondiente al año 2011.**

Los resultados muestran que hubo una disminución entre los periodos en los que se realizaron los catastros en las coberturas de praderas de un 6,4 % y en bosque nativo de un 5,4 %, mientras que la cobertura de las plantaciones forestales experimentó un aumento en un 24,5 % (Fig. 9). Esta tendencia también se refleja a nivel de la Región de Los Ríos (Tabla 4; Fig. 8).

Tabla 4. Superficies a nivel regional para los sistemas de interés (CONAF, 2008)

	Bosque nativo y mixto [Área Km <sup>2</sup> ]	Plantación forestal [Área Km <sup>2</sup> ]	Praderas, matorrales y terrenos agrícolas [Área Km <sup>2</sup> ]
Actualización 1998	8773,7	1738,9	5936,1
Actualización 2006	8606,1	2373,4	5483,0

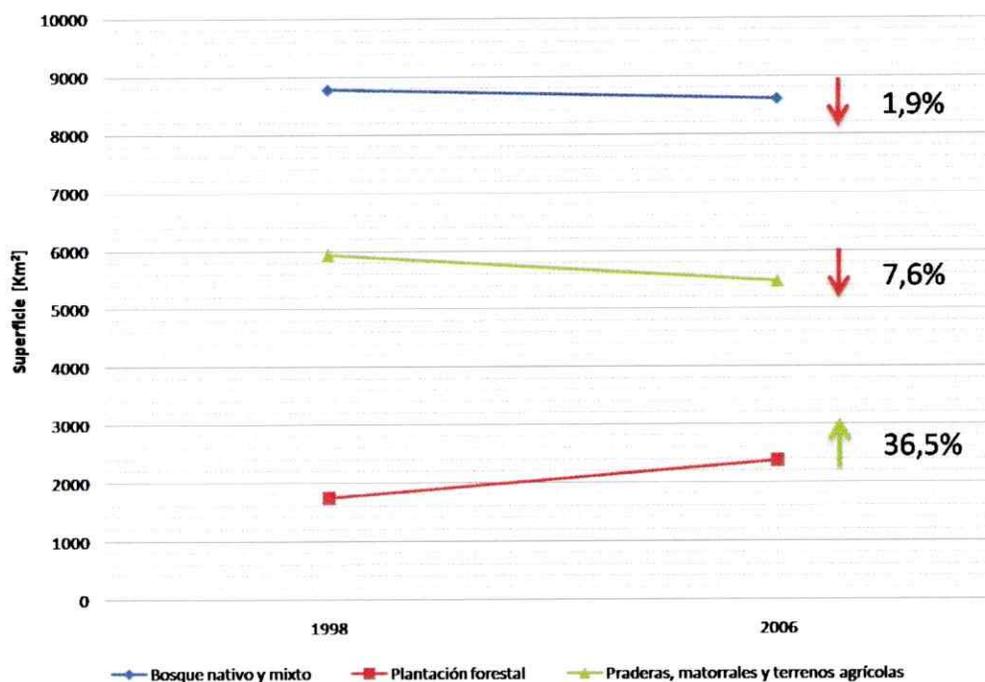


Figura 8. Variación a nivel de la Región de los Ríos para praderas, plantación forestal y bosque nativo (CONAF, 2008)

Con respecto a las áreas obtenidas en la clasificación supervisada, se observa disminución en praderas de un 11,8% y plantación forestal en un 14,4% y un aumento de bosque nativo en comparación a las áreas conocidas del último catastro desarrollado por CONAF el año 2006 de un 15,5% (Fig. 10).

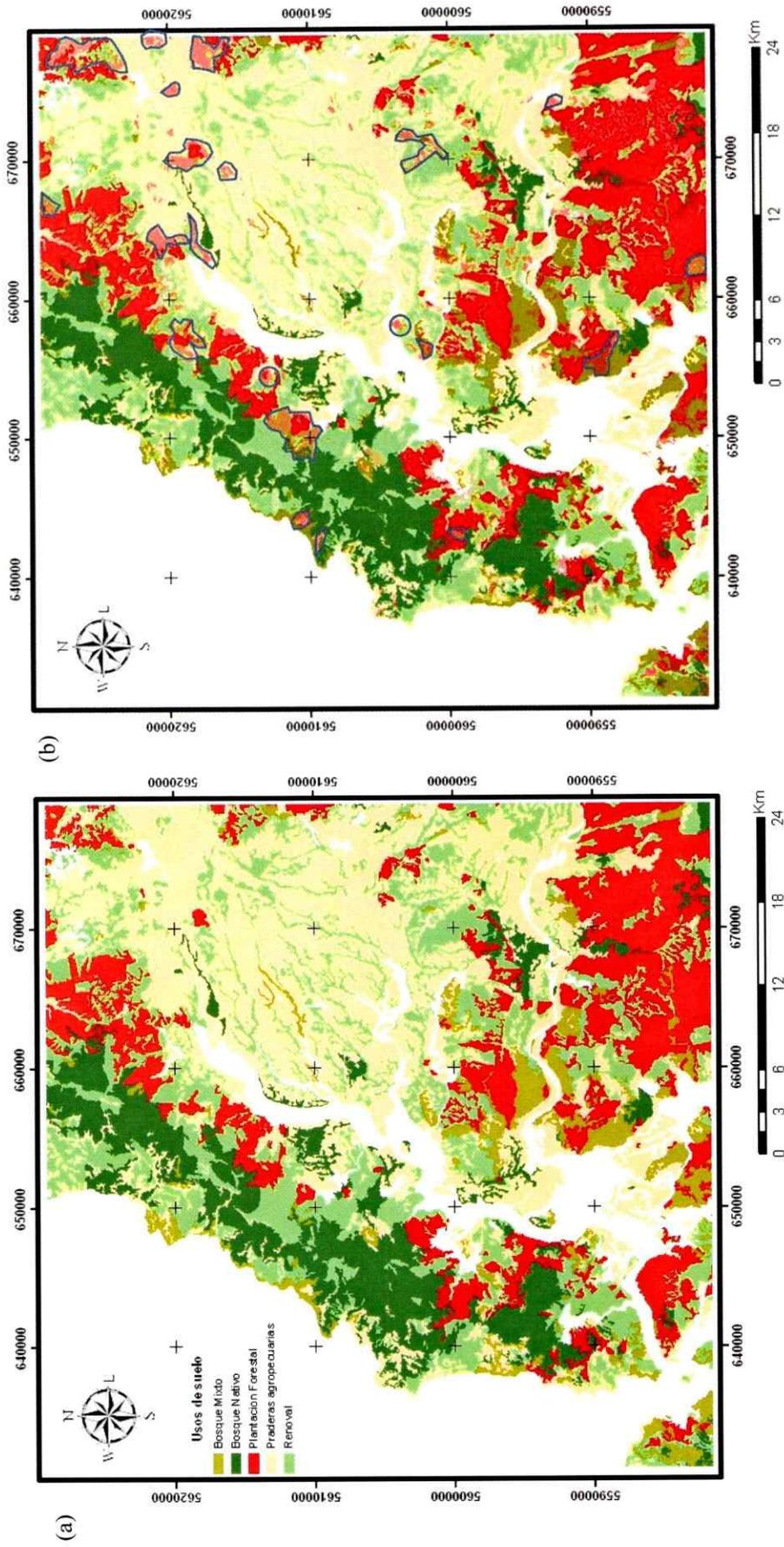


Figura 9. (a) Usos de suelo CONAF 94-97 con bosque mixto, bosque nativo, plantación forestal, praderas y cultivos y renovál. (b) Usos de suelo de CONAF 2006 con bosque mixto, bosque nativo, plantación forestal, praderas y cultivos y renovál superpuesto como transparencia sobre los usos de CONAF 94-97. Se aprecia el avance de plantaciones forestales en las zonas encerradas en azul sobre renovales en el lado poniente del humedal y sobre praderas en la zona norte en las zonas encerradas en azul.

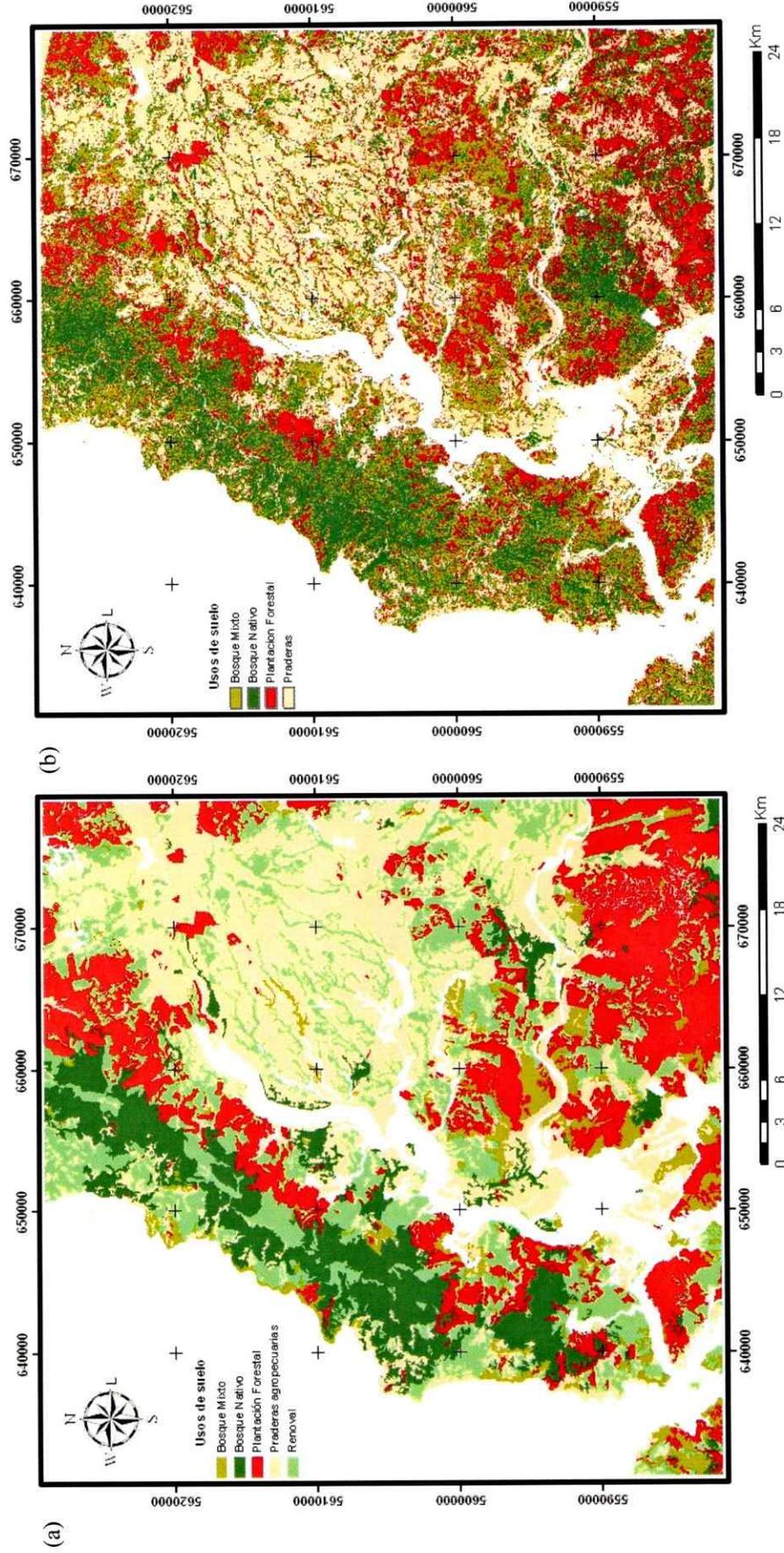


Figura 10. (a) Usos de suelo CONAF 2006 con bosque mixto, bosque nativo, plantación forestal, praderas y cultivos y renovel. (b) Usos de suelo de la clasificación supervisada con bosque nativo, bosque mixto, plantación forestal y praderas y cultivos.

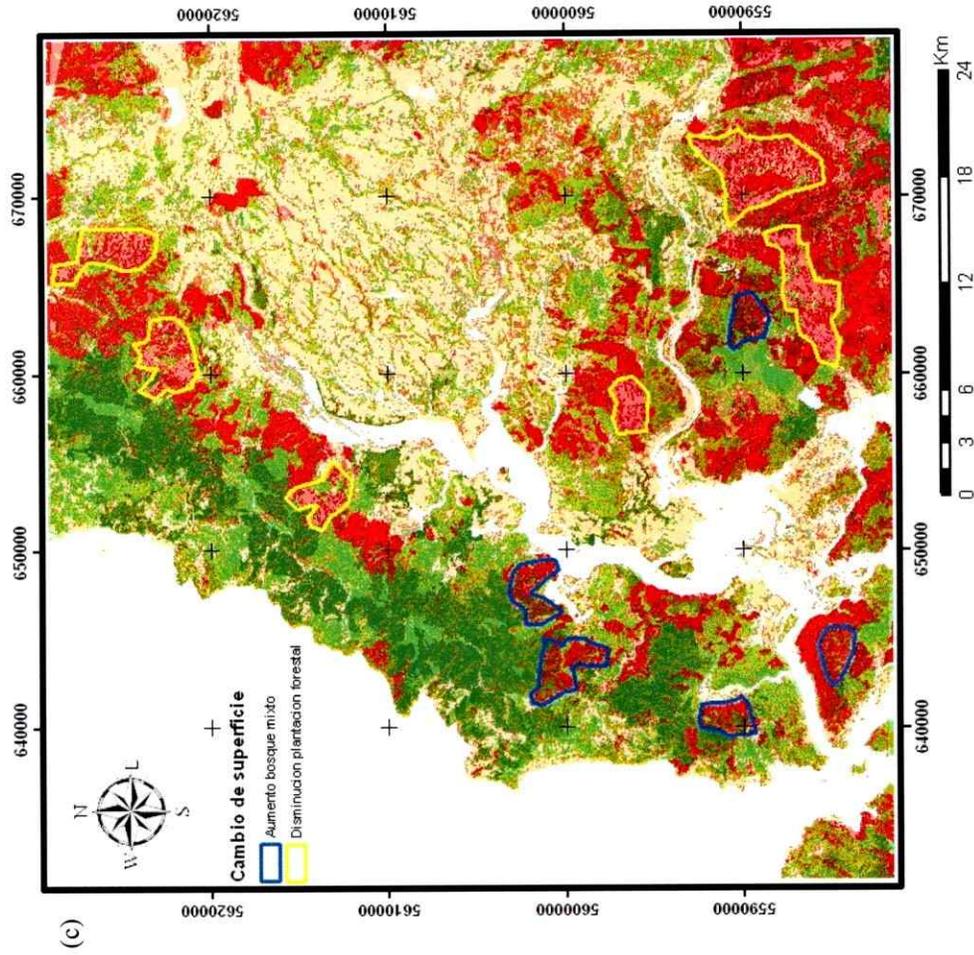


Figura 10. (c) Usos de suelo de la clasificación supervisada superpuestos sobre los usos de suelo de CONAF 2006. Se aprecia encerrado en amarillo la disminución de las plantaciones forestales y encerrado en azul el aumento de bosque mixto según lo categorizado en la clasificación supervisada.

### 3.3 Modelo Conceptual

El modelo conceptual muestra las que el componente plantaciones forestales afectan negativamente al bosque nativo debido a remplazo mediante quemas o talas (Fig. 11). Las plantaciones forestales también afectan negativamente a las praderas y cultivos porque sus terrenos son ocupados para plantar especies arbóreas exóticas, lo que trae un empobrecimiento de nutrientes en el suelo. Finalmente, las plantaciones forestales afectan negativamente al humedal principalmente al ser talados, donde el suelo de este sistema queda descubierto y expuesto a erosión tanto eólica como hídrica, aportando al humedal con sedimentos mediante escorrentía.

El componente praderas y cultivos afecta al componente bosque nativo negativamente debido al remplazo, donde el bosque nativo es quemado para ocupar sus terrenos en cultivos y ganado. Esta situación se dio principalmente en la época de colonización. El componente praderas y cultivos tiene un efecto positivo para el componente humedal: Por un lado la presencia de vegetación tiene un efecto benéfico al retener suelo y reducir la escorrentía; sin embargo en terrenos que estén desprotegidos de vegetación la situación será inversa, no existiendo impedimento a la erosión. Además, por lixiviación se infiltran nutrientes a las napas subterráneas, contaminando de manera difusa los cuerpos de agua, como afluentes del humedal y al humedal mismo.

El componente bosque nativo tiene un efecto positivo sobre el componente humedal, puesto a la protección del suelo que ofrecen árboles nativos y sotobosque.

Por otro lado protege al humedal contra esorrentía excesiva y aporte de sólidos, aportando con un flujo de agua constante al humedal. Así también la alta densidad de la vegetación protege al humedal contra erosión eólica y reduce el impacto de la lluvia sobre el suelo. Los aportes de nutrientes y sedimentos al componente humedal, principalmente se dan desde plantaciones forestales y praderas y cultivos, fomentando a su eutrofización.

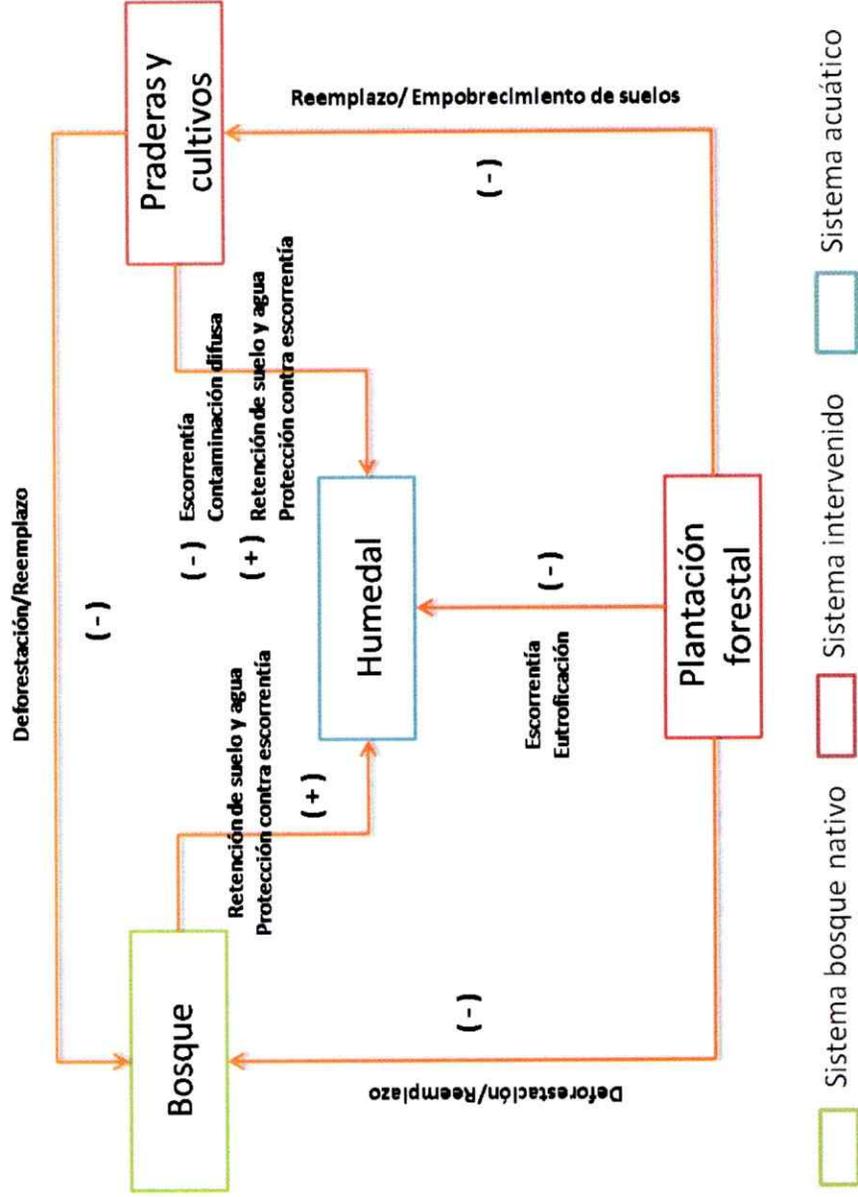


Figura 11. Modelo conceptual de interacciones entre los sistemas seleccionados como componentes o reservorios.

### **3.4 Procesos ecosistémicos y su influencia sobre el humedal.**

Se asignaron a los sistemas en estudio los procesos ecosistémicos que tienen lugar en el área de estudio (Tabla 5). De acuerdo a los objetivos de este seminario de título, se consideraron los procesos incluidos en las funciones de regulación, hábitat y producción que aporten a la mantención del humedal. La función de información no se incluyó dado a que no influye en la mantención de los procesos del humedal en términos ecosistémicos, si no que tiene una connotación principalmente de índole social.

Los resultados de la clasificación cualitativa muestran que el componente Bosque Nativo es que aporta los mayores y más importantes funciones y procesos (++) , siguiéndole en importancia las Praderas y finalmente las Plantaciones forestales. Se destaca la relevancia de los procesos relacionados con la protección del suelo y con la regulación de la escorrentía (Tabla 6).

Para el sistema de praderas y cultivos se consideraron los procesos ecosistémicos desde una perspectiva donde está cubierta por vegetación y por otro lado cuando se encuentra arada o desprovista de vegetación. Esto es dado a que una considerable proporción de las praderas (alrededor de un 80%) entregó una escasa o nula señal de vegetación al analizar la imagen satelital. En la Figura 12, se presentan los procesos que afectan de forma positiva al humedal por parte de cada sistema, considerando el mantener una condición ecológica de aguas claras.

Tabla 5. Identificación de procesos mediante la asignación de servicios y generación de bienes por parte de cada sistema

SISTEMAS Y SUS SERVICIOS Y/O BIENES				
PROCESOS		Bosque Nativo	Plantación forestal	Praderas y cultivos
<b>Regulación</b>				
<b>Rol de los ecosistemas en los ciclos biogeoquímicos</b>	Absorción, almacenamiento y generación de CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> y elementos minerales	Reducción del efecto invernadero al capturar y almacenar carbono atmosférico	---	Aporta a la regulación de gases
<b>Influencia de la cubierta vegetal y biológica sobre la mantención del clima</b>	Regulación de la temperatura Aumenta humedad Reduce vientos	---	---	Sumidero de gases invernadero
<b>Influencia de la estructura de los ecosistemas en la amortiguación de disturbios</b>	Reducen riesgo de inundación	Erosión y descarga de sedimentos por tala		Erosión hídrica y por forrajeo
<b>Papel de la cubierta vegetal en la regulación de la escorrentía y la descarga de ríos</b>	Corriente hídrica subterránea más lenta que la superficial, lo que favorece la continuidad del flujo, siendo los ríos que allí se forman de un caudal constante Evita la pérdida de navegabilidad de los cauces mayores	La escorrentía es reducida (y menor que en bosque nativo) debido a que el agua es aprovechada por a planta o perdida por evapotranspiración principalmente. Sin embargo, al talarse la plantación el suelo queda desprotegido, aportando a los cuerpos de agua con sólidos en suspensión		Disminución de escorrentía por parte de la vegetación
<b>Filtrado, retención y almacenamiento de agua dulce</b>	Disponibilidad de agua en napas freáticas	Demandan mucha agua, por lo que reducen los caudales en meses secos, disminuyendo la disponibilidad de agua para consumo		Almacenamiento de agua en napas freáticas
<b>Rol de la vegetación y de la biota del suelo en la retención de suelo</b>	Previene daños por erosión eólica reduciendo la velocidad del viento y de erosión hídrica al disminuir corriente superficial	Pueden servir como medida de evitar la erosión. No obstante, dado al uso que se les da en la zona este aporte se ve reducido, ya que se instalan en suelos con un uso anterior y son sometidas a tala.		Control de la erosión por parte de la vegetación
<b>Meteorización de rocas, acumulación de materia orgánica</b>	Mejora la fertilidad del suelo	---	---	---

<b>Regulación</b>	<b>Bosque Nativo</b>	<b>Plantación forestal</b>	<b>Praderas y cultivos</b>
<b>Rol de la biota en el almacenamiento y en el reciclado de nutrientes</b>	Población de microorganismos adecuada para el reciclado de nutrientes	Consumen muchos nutrientes, empobreciendo los suelos. El uso de monocultivos empobrece los suelos	Enriquecimiento de los suelos Uso de fertilizantes provoca exceso de nutrientes
<b>Rol de la vegetación y la biota en el traslado o distribución de nutrientes xenic y compuestos</b>	Absorben aerosoles y ruido, disminuyendo la contaminación atmosférica y acústica. Lo mismo ocurre con partículas contaminantes como polvo y hollín	Retención de nutrientes principalmente en la biomasa	La vegetación es fertilizada para la producción de forraje
<b>Papel de la biota en la circulación de gametos florales</b>	Polinización	---	Polinización de cultivos
<b>Hábitat</b>			
<b>Espacio de vida adecuados para plantas silvestres y animales</b>	Hábitat para gran cantidad de especies silvestres de fauna y vegetales que forman el sotobosque	No se logra establecer un hábitat ya que se talan muy jóvenes	Hábitat para pastoreadores Relicto de especies vegetales nativas
<b>Adecuado hábitat de reproducción</b>	Conservación de la biodiversidad	Pérdida de biodiversidad por efecto de plantaciones homogéneas (monocultivos)	Reproducción de ganado, generación de cultivos
<b>Producción</b>			
<b>Conversión de la energía solar en plantas y animales comestibles</b>	Transformación de la energía radiante en química Producción de hidratos de carbono usados por organismos Producción de frutas y semillas	---	Obtención de carne, leche y forraje
<b>Conversión de la energía solar en biomasa para la construcción y otros usos</b>	Uso de la madera para leña principalmente y uso en construcción	Producción de madera, celulosa, papel, tableros, chips o astillas	---
<b>Variedad de (bio-) sustancias químicas y otros usos medicinales de la biota natural</b>	Obtención de sustancias químicas como alcaloides, resinas, aceites, látex, principios activos para fármacos, etc.	---	---

Tabla 6. Procesos ecosistémicos de los sistemas identificados y su influencia sobre el Humedal (adaptado de De Groot, 2002). Para praderas, se consideró la situación cuando presenta cultivo o pastura y cuando se presenta como suelo desnudo sin vegetación.

Funciones y procesos del humedal	Influencia de los principales sistemas identificados			
	Bosque Nativo	Plantación forestal	Pradera y cultivos	
			c/veg	s/veg
<b>REGULACION</b>				
Rol en ciclos biogeoquímicos	+	+	+	0
Mantención del clima	+	0	+	0
Amortiguación de disturbios	++	-	+	-
Regulación de la escorrentía y la descarga de ríos	++	-	+	-
Filtrado, retención y almacenamiento de agua dulce	++	-	+	-
Rol de la vegetación y de la biota del suelo en la retención de suelo	++	-	+	-
Acumulación de materia orgánica	++	+	+	0
Almacenamiento y reciclado de nutrientes	+	+	+	0
Traslado o distribución de nutrientes	+	+	-	0
<b>HABITAT</b>				
Espacio de vida adecuados para plantas silvestres y animales	+	0	+	0
Adecuado hábitat de reproducción	+	0	+	0
<b>PRODUCCION</b>				
Conversión de la energía solar en plantas y animales comestibles	-	0	-	0
Conversión de la energía solar en biomasa para la construcción y otros usos	-	-	-	0
Material genético y evolución de plantas y animales silvestres	+	0	0	0
Variedad de (bio.) sustancias químicas y otros usos medicinales de la biota natural	+	0	0	0
	(++) Muy positivo	(+) Positivo	(0) Neutro	(-) Negativo

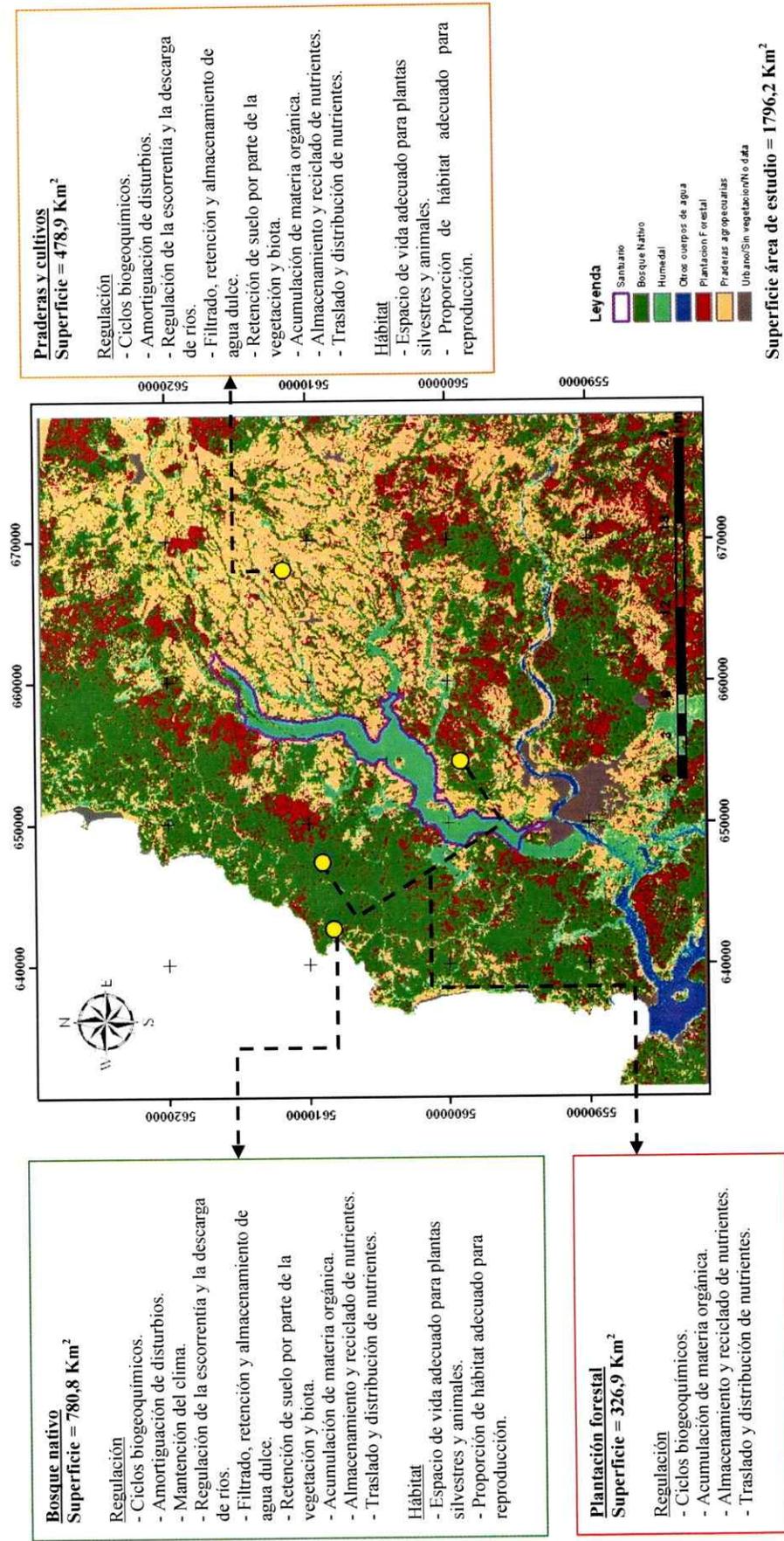


Figura 12. Procesos ecosistémicos según tipo de función que desempeñan de los sistemas identificados benéficos para el humedal

### **3.5 Vulnerabilidad del suelo a través de una clasificación cualitativa en base a Vegetación y erosión de suelo**

El análisis de vulnerabilidad (Tabla 7) mostró que el bosque nativo (vulnerabilidad 1) presenta la mejor retención de suelo por la presencia de especies arbóreas nativas y la formación de sotobosque. El bosque mixto (vulnerabilidad 2), que presenta especies nativas y donde también hay presencia de especies exóticas, presenta una retención menor que bosque nativo. Las praderas y cultivos (vulnerabilidad 3) poseen principalmente vegetación herbácea y presenta menor resistencia frente a erosión eólica que las especies arbóreas y menor capacidad de retención de agua, por lo que la escorrentía es mayor que en el bosque, además del efecto de pastoreadores, llevando al humedal tanto sedimentos como nutrientes. Las plantaciones forestales (vulnerabilidad 4), si bien están compuestas por especies arbóreas introducidas, la erosión que presenta su suelo es mayor debido al uso forestal y constante tala, lo que no permite la formación de sotobosque, además de que en varios casos ocupan terrenos en los que antes hubo praderas, por lo que el suelo está más compactado. Finalmente, los terrenos de pradera sin vegetación ni cultivos es prácticamente suelo desnudo (vulnerabilidad 5), al igual que las zonas urbanas, por lo que la retención de suelo es nula y está expuesta tanto a erosión eólica como hídrica (Fig. 13 y 14; Tabla 8). Las clases de humedal, otros cuerpos de agua, urbano-sin vegetación y no data no se consideran para esta clasificación, por lo que se las clasifica como "No data"

Tabla 7. Clasificación de vulnerabilidad de acuerdo a la vegetación presente.

Grado de vulnerabilidad	Coefficiente	Tipo de vegetación	Área [Km <sup>2</sup> ]
Muy baja	1	Bosque nativo	414,03
Baja	2	Bosque mixto	363,84
Moderada	3	Praderas con vegetación	92,99
Alta	4	Plantación forestal	325,64
Muy alta	5	Terrenos con escasa o nula vegetación	391,91
No data	---	---	207,78

### 3.6 Modelo de gestión

El modelo de gestión propuesto para la conservación de cuencas o subcuencas hidrográficas consta de dos grandes áreas (Fig. 15):

a) **Sistema de información geográfica (GIS)**, donde se considera el uso de imágenes satelitales, cartografías existentes del uso de suelo del lugar y la obtención de puntos de terreno mediante muestreo para corroborar y obtener una visión actualizada respecto a lo que se sabe, y

b) **Análisis ecosistémico**, que considera la importancia de los procesos para mantención de la estructura y procesos de un ecosistema.

Una vez identificados los sistemas principales, se los relaciona en un modelo conceptual en donde se establecen sus interacciones, se identifican los procesos ecosistémicos que poseen y cómo el funcionamiento de estos influye en el estado de un sistema vecino (en este caso el humedal). Finalmente se propone la evaluación de terrenos en base al tipo de vegetación que estos poseen para tenerlos en consideración a la hora de analizar fuentes de sedimentación (Fig. 13).

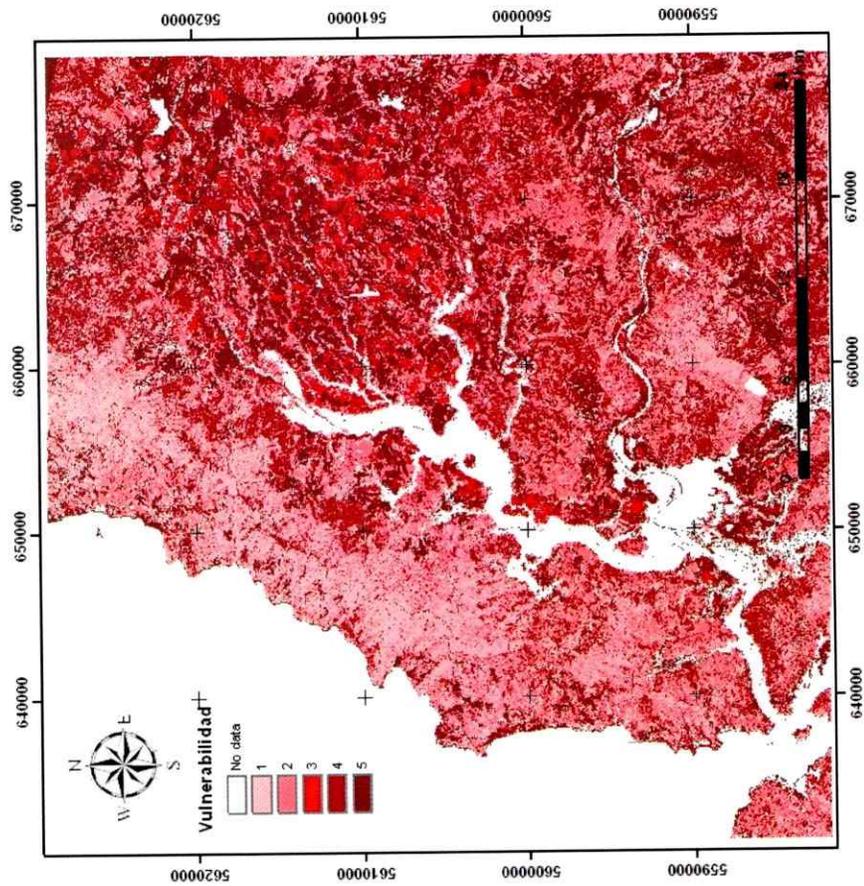


Figura 13. Mapa de zonas susceptibles a erosión. Las zonas más claras corresponden a una mejor retención de suelo por parte de la vegetación y las más oscuras a zonas con escasa o nula vegetación.

Tabla 8. Áreas por categoría de erosión. El área total de sistemas terrestres de 1621 Km<sup>2</sup>

Grado de Vulnerabilidad	Área [Km <sup>2</sup> ]
1	414,03
2	363,84
3	92,99
4	325,64
5	391,91
No data	207,78

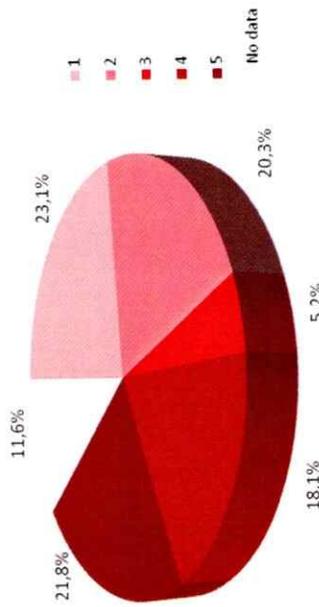


Figura 14. Gráfico con áreas de vulnerabilidad expresadas en porcentaje.

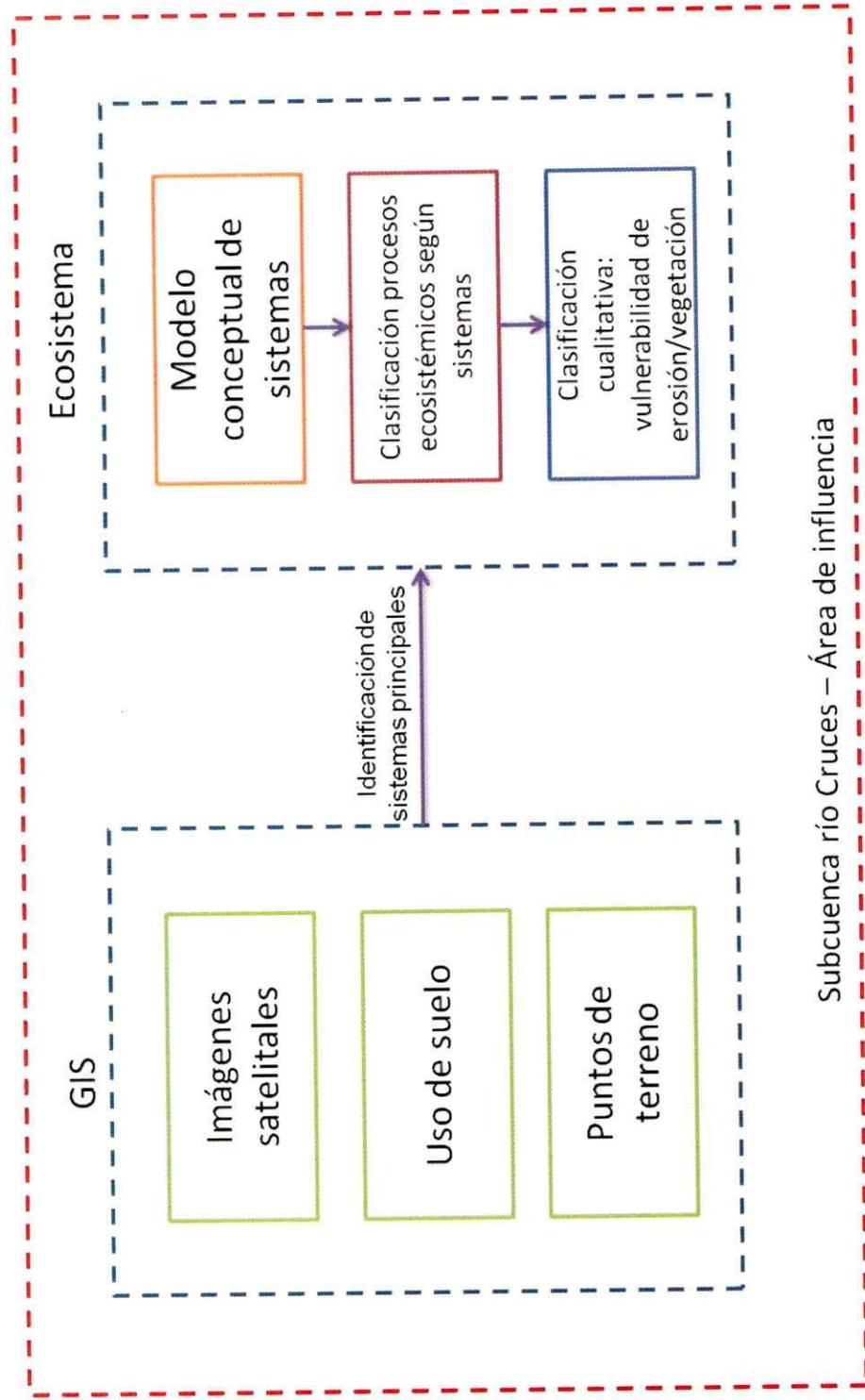


Figura 15. Modelo propuesto para gestionar el humedal considerando herramientas SIG y el estudio de sus procesos ecosistémicos

## 4. Discusión

### 4.1 Uso de imágenes Landsat para el estudio de ecosistemas

Los resultados de este trabajo muestran que es posible la identificación de sistemas que interactúan dentro de un ecosistema mediante el análisis de imágenes satelitales, en este caso proporcionadas por el satélite Landsat7 ETM+ donde cada unidad (pixel) corresponde a 900 m<sup>2</sup> de terreno. De esta forma, el humedal del Río Cruces se encuentra rodeado principalmente por los sistemas terrestres de bosque nativo en la zona alta de la cordillera de la Costa, praderas y cultivos en el sector noreste y por plantaciones forestales en la ladera oriental de la cordillera de la Costa y en la zona sureste en la depresión intermedia. Se destaca la presencia de bosque mixto prácticamente en toda el área de estudio. Al corroborar con las cartografías proporcionadas por CONAF, se puede determinar que corresponde principalmente a bosques secundarios con renovales en la zona de praderas y a mezcla de vegetación nativa con exótica, además de la presencia de matorrales. Sin embargo, este tipo de imagen no proporciona exactitud en la identificación de comunidades vegetales dada a su resolución espacial (Fernández-Coppel & Herrero, 2001). Al analizar la separabilidad de las clases establecidas en la clasificación supervisada mediante el índice de divergencia transformada (Tabla 1), se determinó que los sistemas terrestres se separan totalmente de los acuáticos (valor máximo de 2000). Los sistemas boscosos (bosque nativo, mixto y plantaciones forestales) se separan totalmente de las praderas y cultivos

y de zonas urbanas y sin vegetación. Sin embargo, el valor entre bosque nativo y plantación forestal es de 1756, el cual es cercano al valor límite (1700) de ser considerado como una buena separabilidad. Por otro lado, el valor entre bosque nativo y bosque mixto (1388) señala una pobre separación entre clases. De esta forma, los sistemas boscosos son los que presentan menores valores de separación de clases.

Uno de los aspectos relevantes a la hora de clasificar las señales espectrales de la imagen, fue la ambigüedad que presenta la separación de terrenos agrícolas y praderas de sectores urbanos. Esto se debe a que zonas destinadas a cultivo que en determinado momento se encuentren con escasa vegetación, que esta esté marchita o sean zonas desprovistas de vegetación, emiten una señal espectral equivalente a la emitida por zonas urbanas asfaltadas a la hora de ser interpretadas por el satélite. De acuerdo a González-Rebeles y Jennings, (2001), que trabajan en el programa de análisis de vacíos en conservación de la USGS, muchas veces es útil separar las zonas urbanas de los terrenos destinados a agricultura, utilizando información anexa al momento de clasificar, ya que gran parte de la variación espectral de las imágenes Landsat se asocia a este tipo de cubierta.

Un uso más recomendable de este tipo de imágenes es el de monitoreo a largo plazo, ya que uno de los aspectos que hay que tener en cuenta al trabajar con una imagen satelital es que capta un instante en el tiempo entregando las condiciones de una zona geográfica en ese momento, por lo que se puede estar viendo una condición puntual como talas o incendios forestales. Esto, junto con el análisis de información histórica,

permite asignar de mejor manera los usos de suelo que existen e inferir proyecciones futuras. La gran proporción de praderas que se muestra sin vegetación puede deberse a que la imagen corresponde al mes de enero, encontrándose la zona en verano, por lo que muchas áreas pueden estar secas o ya cosechadas. Esta herramienta ha adquirido gran valor en el análisis de variaciones en los bosques relacionados con la fragmentación de hábitat pues permite establecer un grado de amenaza para el ecosistema (Echeverría et al., 2006)

Otro aspecto a considerar de acuerdo al tipo de proyecto en el que se esté trabajando es el tipo de imagen a utilizar y la resolución que se requiere. Las imágenes Landsat tienen una amplia aplicación por la gran accesibilidad que tienen. Sin embargo, si se quiere trabajar con mayor detalle es más recomendable el uso de imágenes obtenidas con otros sensores, como por ejemplo Spot<sup>6</sup> (resolución de 2,5 m a 20 m), Íkonos<sup>7</sup> (resolución de 0,81 m a 3,2 m) o Quickbird<sup>8</sup> (resolución de 0,61 m a 2,4m). A mayor resolución menor es la superficie que abarca la imagen y la accesibilidad se dificulta por el alto costo que tienen las imágenes de mayor resolución.

---

<sup>6</sup> MapMart. Global Mapping Solutions. Astrium/Spot Imagery [Disponible en: <http://www.mapmart.com/Products/SatelliteImagery/SPOT.aspx>. Revisado el 31 de agosto de 2012]

<sup>7</sup> LandInfo. Worldwide Mapping LLC. Ikonos High-Resolution Satellite Imagery [Disponible en <http://www.landinfo.com/satprices.htm>. Revisado el 31 de agosto de 2012]

<sup>8</sup> LandInfo. Worldwide Mapping LLC. QuickBird High – Resolution Satellite Imagery [Disponible en <http://www.landinfo.com/QuickBird.htm>. Revisado el 31 de agosto de 2012]

## 4.2 Cambios de uso de suelo

En base a la información disponible de los catastros de CONAF para la región, correspondientes al período de 1994-1997 y actualización del año 2006, se aprecia un aumento del sistema plantación forestal y disminución de bosque nativo y praderas. En relación a bosque nativo, la baja en superficie se explica por la expansión de las plantaciones forestales hacia terrenos ocupados por renovales, principalmente en la ladera oriente de la cordillera de la Costa y en el valle central al sur del río Pichoy. Las zonas de praderas también se ven afectadas en su superficie debido a la instalación de plantaciones forestales en sus terrenos, en la zona norte del humedal bordeando el río Cruces (Fig. 9b).

Los resultados correspondientes a la clasificación supervisada indican un notorio aumento de bosque nativo, disminución de plantación forestal y también de praderas. De acuerdo a lo mostrado en la imagen satelital, la disminución de plantación forestal se debe principalmente a que se ha talado en varias zonas (Fig. 10c). Esto además muestra una mayor vulnerabilidad del humedal a recibir aportes de sedimento provenientes de las talas, principalmente desde la zona noroeste. Este hecho es reafirmado por Muñoz-Pedreros (2003), quien señala que se generan grandes volúmenes de sedimento especialmente en el borde oeste del humedal debido a las prácticas forestales de lata rasa. El aumento de bosque nativo se debe a su aumento como categoría bosque mixto, mezclándose con plantaciones forestales (Fig. 10c) y encontrándose en medio de las praderas perennes como parque Roble-Laurel-Lingue. Esto último puede indicar

ambigüedad en la señal espectral debido a su resolución o involucrar error al clasificar la imagen, quedando áreas que corresponden a praderas como zonas de bosques, lo que puede deberse a falta de muestreo para poder esclarecer de mejor modo las diferencias entre ambas formaciones.

#### **4.3 Procesos ecosistémicos relevantes para el humedal**

Dentro de los procesos ecosistémicos de los sistemas terrestres relevantes para el humedal destacan los que desempeñan funciones de regulación, principalmente los procesos de amortiguación de disturbios, regulación de escorrentía, filtrado y almacenamiento de agua y el rol de la vegetación en la retención del suelo.

En los sistemas estudiados, principalmente plantación forestal y praderas agropecuarias, es importante considerar cómo se ven alterados estos procesos ya que son afectados por la actividad humana. En el primer caso, en comparación con el sistema natural (bosque nativo), hay varios aspectos que afectan a la hidrología del sistema: por un lado las hojas de las coníferas como el pino radiata en comparación a hojas latifoliadas características de especies arbóreas nativas, interceptan una mayor cantidad de agua por su forma de aguja y mayor área foliar (Hofstede et al., 1998), lo que incide en que las plantaciones presenten una mayor evapotranspiración en comparación a bosques nativos y una menor escorrentía (Huber et al., 2008). Esto también se ha determinado en estudios en la zona centro sur de Chile para plantaciones jóvenes de *E.*

*globulus* y *P. radiata*, donde además a mayor edad de la plantación se reducen las reservas de humedad del suelo.

La conversión de bosque nativo a plantaciones de rápido crecimiento conlleva un deterioro en la calidad de las aguas (Lara et al., 2009), ya que aumentan las descargas de sedimentos asociadas a las talas rasas propias de los procedimientos forestales en Chile (Huber & López, 1993; Donoso & Otero, 2005), donde las plantaciones se manejan en rotaciones de 12 años o menos en el caso de *Eucalyptus spp.* y 20 años para *Pinus radiata*. Este hecho puede ser un factor detonante en que se supere la capacidad amortiguadora del humedal, principalmente de la retención de sedimentos por parte de la vegetación palustre, causando que se rellene el humedal y vaya perdiendo profundidad, aumentando la turbidez y afectando la productividad primaria. Un gran ingreso de sedimentos puede alterar las tramas tróficas del humedal y sus funciones como el mejorar la calidad del agua, reciclado de nutrientes, secuestro de contaminantes, etc. (Gleason & Euliss Jr., 1998). Marín et al. (2009) identifican el descenso en el nivel del agua, acompañado de una declinación en las precipitaciones en el mes de mayo de 2004 (en comparación a la precipitación característica para ese período del año), como una de las causas más factibles en la desaparición de *E. densa* en el humedal, puesto a que quedó expuesta a bajas temperaturas y vientos, provocando la muerte de la planta y con ello la desaparición del cisne de cuello negro, mayoritariamente por migración, al no encontrar alimento.

El reemplazar un bosque natural de alta complejidad estructural por uno de la misma especie (monocultivo) y de la misma edad, provoca cambios en las relaciones ecológicas, modificando la composición y abundancia de especies. En Nueva Zelanda, donde bosques del género *Nothofagus* ha sido reemplazado por plantaciones de pino insigne, han aparecido plagas de roedores que causan problemas a las poblaciones rurales cercanas. En Chile han surgido plagas de insectos defoliadores, hongos, roedores y lagomorfos. En la VII y VIII regiones, las empresas forestales han recurrido a plaguicidas con tal de eliminar a los roedores, lo que en lugar de solucionar el problema trajo consigo aún más alteraciones en el ecosistema, ya que se vieron afectados masivamente depredadores como la lechuza blanca y el zorro culpeo. Con esto se puede decir que un monocultivo de pino insigne es un ecosistema más vulnerable por su simplificación estructural (Muñoz-Pedreros & Möller, 1999).

Por otro lado, se reconoce al pastoreo en praderas como una actividad de alto potencial contaminante debido a la cantidad de nutrientes, específicamente nitrógeno (N) y fósforo (P), transferidos al medio ambiente aéreo y acuático. En los sistemas ganaderos de la región, la principal entrada de nutrientes es el uso de fertilizantes y de concentrados utilizados en alimentos y su principal salida es la exportación de nutrientes en forraje y no en la generación de productos animales como carne y leche.

Hasta hace un tiempo, se relacionaba la contaminación de cursos de agua con fuentes puntuales o directas, tanto en Chile como a nivel internacional; sin embargo, esta situación ha cambiado y ha aumentado la preocupación por la contaminación difusa, en

donde no se puede establecer con exactitud las fuentes de los contaminantes, ya que estos ingresan a los cursos de agua (superficiales o subterráneos) por vías indirectas, por lo que es complejo determinar responsables. Esta contaminación puede ser continua o intermitente, siendo la última más frecuente y relacionándose con fenómenos estacionales como altas tasas de precipitación, donde hay pérdida de nutrientes por lixiviación y arrastre, lo que la hace más difícil de controlar que una fuente puntual de contaminación (Alfaro & Salazar, 2005). Los autores señalan que en el sur de Chile existe escasa información del impacto ambiental de la actividad pecuaria principalmente en cursos de agua, a pesar de la importancia que tiene este rubro.

De acuerdo a la Figura 13, las plantaciones forestales son una potencial fuente de sedimento producto de la práctica de tala rasa, lo que es afirmado por Muñoz-Pedrerros (2003), principalmente en el borde oeste del humedal, lo que influye en el relleno prematuro del humedal y en la turbidez del agua, lo que es característico de humedales ubicados en terrenos agroforestales. Por otro lado, la zona correspondiente a praderas presenta terrenos susceptibles a erosión puesto a que muestran escasa o nula señal de vegetación, oponiendo nula resistencia frente a la erosión hídrica y eólica.

En 2010, el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) publicó un informe en el que se estudió la erosión de suelos actual y potencial de la región de Los Ríos, mediante el análisis interpretativo visual de imágenes satelitales Landsat TM 5, datos de estudios agrológicos, curvas de nivel, e índices espectrales confrontadas con las observaciones tomadas en las campañas de terreno. Tales capas de información se

integraron mediante SIG, complementada con técnicas de geomática. Para la clasificación de erosión de suelos se unificaron criterios de acuerdo a los estudios agroecológicos y los boletines técnicos de CONAF y el SAG, estableciendo un criterio con seis categorías: nula o sin erosión, ligera, moderada, severa, muy severa y erosión no aparente, las cuales se diferencian según el grado de protección de suelo por parte de la cobertura de vegetación.

Uno de los indicadores utilizados en dicho informe, y que es similar a lo realizado en este seminario, es el índice de desprotección vegetal, que corresponde al grado de descubertura que otorgan al suelo las clases de cobertura vegetal y uso del suelo, así como la facilidad que entregan al desplazamiento del escurrimiento superficial. Se obtuvo a partir de la actualización del catastro de vegetación nativa de CONAF y procesamiento digital de imágenes satelitales Landsat 5 TM con resolución de pixel de 30 metros. Los criterios considerados en la generación del índice de desprotección fueron la cobertura vegetal (%), el uso de la tierra, la estructura vertical y horizontal de las formaciones vegetacionales, la composición de especies de la formación y la edad modal de las especies. Estos factores se relacionan con la protección contra el efecto de la gota de lluvia sobre el suelo, la infiltración y la facilidad u obstrucción que entregan al desplazamiento del escurrimiento superficial. Una de las principales diferencias de los resultados del estudio de CIREN con el de este seminario de título es la asignación de los coeficientes de vulnerabilidad o desprotección a las diferentes clases de uso de suelo, donde CIREN asigna a praderas perennes un bajo nivel de desprotección y un alto valor a zonas de bosque nativo que sean menos densas. En

cambio, en el seminario el criterio fue principalmente la cobertura de vegetación obtenida mediante el análisis de las señales espectrales proporcionadas por la imagen Landsat, en donde se puede apreciar de mejor forma las zonas que están efectivamente sin vegetación en lugar de solamente guiarse por el uso establecido. De acuerdo a este punto de vista, se pueden observar diferencias al interior de los sistemas que componen el ecosistema en estudio.

#### **4.4 Utilidad de los SIG en gestión de ecosistemas.**

Los sistemas de información geográfica son aplicaciones informáticas que han permitido avanzar en el estudio y análisis de los fenómenos geográficos al incorporar sólidas herramientas de análisis y facilitar el tratamiento estadístico de grandes bases de datos espaciales (Pérez et al., 2001). El desafío de conservar la biodiversidad, el funcionamiento ecosistémico y los servicios ambientales exige aproximaciones novedosas tanto para conocer mejor (plano conceptual) como para gestionar mejor (plano aplicado) los sistemas ecológicos (Cabello & Paruelo, 2008).

La naturaleza de las amenazas que enfrentan los ecosistemas hace que las aproximaciones experimentales tradicionales, si bien necesarias e imprescindibles, sean hoy insuficientes. En el plano conceptual, las observaciones y descripciones naturales y los experimentos en condiciones controladas son, sin duda, esenciales a la hora de evaluar hipótesis acerca del funcionamiento de la naturaleza. Sin embargo, cada vez más, los ecólogos ven la necesidad de ponerlas en el contexto de los principales

problemas ambientales que enfrenta la humanidad, con su naturaleza global y sus múltiples dimensiones (Funtowicz & Ravetz, 2000). Para lo cual, es necesaria la utilización de herramientas interdisciplinarias. Puesto que incorporar este contexto impone el desafío de estudiar los sistemas ecológicos a escalas espaciales y temporales distintas a las que accedemos en experimentos controlados (Cabello & Paruelo, 2008).

Más aún, tratar de entender las consecuencias ecológicas de, por ejemplo, los cambios climáticos, atmosféricos o de uso del territorio, requiere poner énfasis en los diferentes niveles de organización. Esto implica estudiar además de entidades tangibles, como los individuos y las poblaciones, niveles de organización con límites difusos y de creciente intangibilidad como las comunidades o los ecosistemas (Pérez et al., 2001).

La teledetección brinda la posibilidad de ir más allá de lo estructural y describir aspectos funcionales de los sistemas ecológicos, particularmente a nivel de ecosistemas. A este nivel el funcionamiento involucra intercambios de materia y energía de la biota con el medio físico, para cuya caracterización han demostrado ser muy efectivos los índices espectrales. Bajo este enfoque es posible vincular las características espectrales de porciones de territorio (píxeles) con atributos relacionados con la productividad, estacionalidad, fenología, eficiencia en el uso de la precipitación o el nivel de estrés de la vegetación. Desde este punto de vista los sistemas de información geográfica permiten hacer mayores progresos en los aspectos aplicados de la ecología, no sólo en la evaluación de la respuesta de los ecosistemas a los cambios ambientales (Pettorelli et al. 2005), sino también al seguimiento de las acciones de gestión de la naturaleza, desde el

nivel de especie hasta el de ecosistema (Kerr & Ostrowsky 2003; Nagendra & Gadgil 1999; Turner et al. 2003).

Los sistemas de información geográfica y su aplicación han contribuido tanto al conocimiento de procesos ecológicos como a la resolución de problemas de manejo y conservación (Cabello & Paruelo, 2008). En la actualidad existen muchos ejemplos de su aplicación en el área de ecología y conservación. Por citar algunos trabajos, tenemos la descripción de la dinámica temporal de las ganancias de Carbono, particularmente de la productividad primaria neta, y de las pérdidas de agua por evapotranspiración (Paruelo, 2008), en este trabajo se resumen las técnicas más frecuentemente usadas para identificar estos procesos. Las estimaciones de índices y aplicación de modelos con base en imágenes también es, en la actualidad muy utilizados (Garbulsky et al., 2008). Fernández y Piñeiro (2008) usan atributos funcionales para generar clasificaciones de Tipos Funcionales de Ecosistemas en áreas protegidas de España, y señalan como el empleo de dichas clasificaciones representa un complemento al reconocimiento de unidades estructurales, y un elemento básico para el análisis de los ecosistemas con el fin de establecer medidas de gestión.

A modo de conclusión, el estado ecológico del humedal es susceptible a la alteración de su entorno. Sin embargo, se requiere de una cuantificación de procesos como escorrentía y sedimentación para lograr una visión más integral sobre cómo afecta el entorno al humedal (e.g. tasas de sedimentación y aportes de nutrientes). La visión integrada de los diversos factores que interactúan e influyen en el estado de los

ecosistemas y el uso de nuevas aproximaciones es cada vez más requerido para lograr un mayor entendimiento de cómo la sociedad se puede ver afectada producto de las diversas actividades que desarrolla para satisfacer sus necesidades. Esta comprensión fomentará el desarrollo de nuevas metodologías de producción en las que se busque un menor impacto en ecosistemas aledaños para mantener los servicios ecosistémicos que ellos proporcionan.

## 5. Bibliografía

- Alfaro, M., Salazar, F. 2005. Ganadería y contaminación difusa, implicancias para el sur de Chile. *Agricultura técnica* 65 (3): 330 -340.
- Armesto, J., Villagrán, C., Donoso, C. 1994. Desde la era glacial a la industrial: La historia del bosque templado chileno. *Ambiente y Desarrollo* 10: 66 - 72.
- Asociación de Ingenieros forestales por el Bosque Nativo (AIFBN). 2012. Informe de resultados: Monitoreo forestal independiente a patrimonio de Forestal ANCHILE Ltda. en la región de Los Ríos y Los Lagos. 49 pp. [Disponible en línea: [http://www.bosquenativo.cl/descargas/documentos\\_AIFBN/Informe\\_Monitoreo\\_Anchile\\_28\\_08\\_12.pdf](http://www.bosquenativo.cl/descargas/documentos_AIFBN/Informe_Monitoreo_Anchile_28_08_12.pdf)]
- Bosque-Sendra, J., García, R. 2000. El uso de los Sistemas de Información Geográfica en la planificación territorial. *Anales de geografía de la Universidad Complutense* 20 (2000): 49 – 67.
- Cabello, J. Paruelo, J. M. 2008. La teledetección en estudios ecológicos. *Ecosistemas* 17 (3): 1-3. Septiembre 2008.
- Cabello, J., Alcaraz-Segura, D., Altesor, A., Delibes, M., Baeza, S., Liras, E. 2008. Funcionamiento ecosistémico y evaluación de prioridades geográficas en conservación. *Ecosistemas* 17(3): 53 - 63.
- Carmona, A., Monsalve, J. 1999. Sistemas de información geográfica. [Disponible en línea: <http://dds.cepal.org/infancia/guia-para-estimar-la-pobreza-infantil/guia-02.php#capituloIV>]
- Christensen, N., Bartuska, A., Brown, J., Carpenter, S., D'Antonio, C., Francis, R., Franklin, J., MacMahon, J., Noss, R., Parsons, D., Peterson, Ch., Turner, M., Woodmansee, R. 1996. The Report of the Ecological Society of America Committee on the Scientific Basis for Ecosystem Management. *Ecological Applications* 6 (3): 665 – 691.
- Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección especial*. Tercera edición revisada. Ediciones RIALP S. A. Madrid. España.
- CIREN. 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Región de Los Ríos. Síntesis de resultados. 50 pp. [Disponible en línea: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/gsdlexterna/collect/bdirenci/index/assoc/HASH01e7.dir/PC15010.pdf>]

- CONAF. 1999. Documento de trabajo N° 325: Plan de manejo Reserva Nacional Río Cruces. Programa Patrimonio Silvestre. 214 pp.
- CONAF. 2006. Plan Integral de Gestión Ambiental del Humedal del Río Cruces. Valdivia. Chile. 76 pp.
- CONAF. 2008. Catastro de uso de suelo y vegetación. Monitoreo y actualización región de Los Ríos periodo 1998 – 2006. 19 pp.
- CONAF. 2011. Catastro de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Monitoreo de cambios y actualizaciones periodo 1997 – 2011. 28 pp.
- CONAF-CONAMA. 1999. Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Proyecto CONAF-CONAMA-BIRF. 89pp.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., Boumans, R. M. J. 2002. A tipology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41: 393 – 408.
- Delgado, L. E. 1996. Estudio comparativo de contenidos de cobre en bosques de clima mediterráneo de Chile central. Tesis para optar al grado de Magister en ciencias Biológicas con mención en Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile. Santiago. Chile.
- Delgado, L. E. 2010. Gobernanza ambiental como una estrategia sustentable local para cuencas hidrográficas de América Latina: Caso de estudio la cuenca de Aysén. Tesis para optar al grado de Doctor en Procesos Sociales y Políticos en América Latina, mención Sociología. Universidad ARCIS. Santiago. Chile.
- Di Marzio, W., McInnes, R. 2005. Misión consultiva Ramsar: Chile (2005). Informa de misión Santuario Carlos Anwandter (Río Cruces), Chile. [Disponible en línea: [http://ecosistemas.uchile.cl/fCruces/documentos/teoria/files/informe\\_RAMSAR.pdf](http://ecosistemas.uchile.cl/fCruces/documentos/teoria/files/informe_RAMSAR.pdf)]
- Donoso, P. J., Otero, L. A. 2005. Hacia una definición de país forestal: ¿Dónde se situa Chile?. *Bosque* 26 (3): 5 – 18.
- Echeverría, C., Coomes, D., Salas, J., Rey-Bayanas, J. M., Lara, A., Newton, A. 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. *Biological Conservation* 130 (2006): 481 – 494.
- EEM. 2005. Informe de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. [Disponible en línea: <http://www.pnuma.org/forodeministros/15-venezuela/ven09tre-EvaluaciondelosEcosistemasdelMilenio.pdf>]
- ENVI. 2009. Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide.

ERDAS. 1999. Erdas Field Guide. Fifth edition, revised and expanded. Atlanta Georgia, USA. Erdas Inc. 698 pp.

ERDAS IMAGINE®. 2001. Tour guide.

Fernández, N., Piñeiro, G. 2008. La caracterización de la heterogeneidad espacial de los ecosistemas: el uso de atributos funcionales derivados de datos espectrales. *Ecosistemas* 17(3): 64 – 78.

Fernández-Coppel, I., Herrero, E. 2001. El satélite Landsat: Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite Landsat. Universidad de Valladolid. 37pp. [Disponible en línea: <http://www.cartesia.org/articulo37.html>]

Figuerola, E. 2008. Informe Final de Consultoría Valor Económico de la Contribución Anual del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Chile y Análisis de su Financiamiento - Proyecto CONAMA / GEF-PNUD Creación de un Sistema Nacional integral de Áreas Protegidas para Chile Fase Preparatoria (PDF-B). 148 pp. [Disponible en línea: <http://www.proyectogefareasprotegidas.cl/wp-content/uploads/2011/09/ValoracionEconomicaPreliminardelaAP.pdf>]

Fontúrbel, F. 2004. Conservación de ecosistemas: un nuevo paradigma en la conservación de biodiversidad. *Ciencia abierta* 23 (2004): 18 pp. [Disponible en línea: <http://cabierta.uchile.cl/revista/23/articulos/pdf/paper1.pdf>]

Funtowicz, S.O., Ravetz, J. R. 2000. La ciencia posnormal: Ciencia con la gente. Icaria Editorial S.A. Barcelona.

Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile: Clasificación y distribución geográfica. Primera edición. Editorial Universitaria S. A. Santiago Chile.

Galvez-Cloutier, R., Sanchez, M. 2007. Trophic Status Evaluation for 154 Lakes in Quebec, Canada: Monitoring and Recommendations. *Water Quality Research Journal of Canada* 42 (4): 252 – 268.

Garbulsky, M. F., Peñuelas, J., Ourcival, J. M., Filella, I. 2008. Estimación de la eficiencia del uso de la radiación en bosques mediterráneos a partir de datos MODIS. Uso del Índice de Reflectancia Fotoquímica (PRI). *Ecosistemas* 17(3):89-97.

Gleason, R. A., Euliss Jr., N. H. 1998. Sedimentation of Prairie Wetlands. *Great Plains Research: A Journal of Natural and Social Sciences* 8 (Spring 1998): 97 – 112.

- González-Rebeles, C., Jennings, M. D. (Eds.). 2001. Manual para el análisis geográfico de omisiones de conservación "gap analysis". Programa Gap Analysis de la USGS. Moscow, Idaho. EEUU. 248 pp.
- Guerrero, E., De Keizer, O., Córdoba, R. 2006. La Aplicación del Enfoque Ecosistémico en la Gestión de los Recursos Hídricos. UICN. Quito. Ecuador. 78 pp.
- Guerrero-Campo, J. 2005. Efectos de la erosión del suelo sobre los patrones de vegetación y su composición florística. Una revisión bibliográfica. En: Blanc, Ch. P., Caravello, G. U., Conard, S. G. (eds). Mediterránea: Serie de estudios biológicos II (18): 8 – 45.
- Heemskerk, M., Wilson, K., Pavao-Zuckerman, M. 2003. Conceptual models as tools for communication across disciplines. *Conservation Ecology* 7 (3): 8. [Online: <http://www.consecol.org/vol7/iss3/art8>]
- Hofstede, R. 1998. Impactos ecológicos de plantaciones forestales. En: Hofstede, R., Lips, J., Jongsma, W., Sevink, J. Geografía, Ecología y Forestación de la Sierra Alta del Ecuador. Revisión de Literatura. Editorial Abya Yala, Ecuador. 242 pp.
- Huber, A., Iroumé, A., Bathurst, J. 2008. Effect of *Pinus radiata* plantations on water balance in Chile. *Hydrological Processes* 22 (2008): 142 – 148. [On line: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.6582/pdf>]
- Huber, A., López, D. 1993. Cambios en el balance hídrico provocados por tala rasa de un rodal adulto de *Pinus radiata* (D. Don), Valdivia, Chile. *Bosque* 14 (2): 11 – 18.
- Kerr, J., Ostrovsky, M. 2003. From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology and Evolution* 18:299-305.
- Köppen, W. 1948. Climatología. Editorial de Cultura Económica. México D. F. México.
- Landsat 7. 2009. Science Data Users Handbook, updated October 2007. NASA Goddard Space Flight Center. [On line: [http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook\\_htmls/chapter9/chapter9.html](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter9/chapter9.html)].
- Lara, A., Little, C., Urrutia, R., McPhee, J., Álvarez-Garretón, C., Oyarzún, C., Soto, D., Donoso, P., Nahuelhual, L., Pino, M., Arismendi, I. 2009. Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forest in Chile. *Forest Ecology and Management* 258 (2009): 415 – 424.
- Marín, V. H., Delgado, L. E. 1998. La Antártica. Editorial Universitaria. 90 pp.

- Marín, V. H., Delgado, L. E (Eds.). 2007. Elaboración de un modelo conceptual del ecosistema del humedal de río Cruces. Informe de avance. Universidad de Chile. Pp. 112 – 126. [Disponible en línea: <http://ecosistemas.uchile.cl>. Revisado el 5 de julio de 2012].
- Marín, V. H., Delgado, L. E. 1998. La Antártica. Editorial Universitaria. 90 pp.
- Marín, V., Tironi, A., Delgado, L., Contreras, M., Novoa, F., Torres-Gómez, M., Garreaud, R., Vila, I., Serey, I. 2009. On the sudden disappearance of *Egeria densa* from Ramsar wetland site of Southern Chile: A climate event trigger model. *Ecological Modelling* 220 (2009): 1752 – 1763.
- Montaldo, P. 1973. El problema de la clasificación de las praderas permanentes de lluvia. *Agro sur* 1 (1): 3 – 10.
- Moreira, A. 1996. Los sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. *Ambiente y Desarrollo* 12 (2): 80 – 86.
- Muñoz-Pedrerros, A. 2003. Guía de los Humedales del Río Cruces. CEA Ediciones. Valdivia. Chile. 143 pp.
- Muñoz-Pedrerros, A., Möller, P. 1999. Bosque Nativo y Educación Ambiental. CEA Ediciones. Valdivia. Chile. 152 pp.
- Nagendra, H., Gadgil, M. 1999. Biodiversity assessment at multiple scales: Linking remotely sensed data with field information. *Proceedings of the National Academy of the United States of America* 96:9154–9158.
- Nahuelhual, L., Donoso, P., Lara, A., Nuñez, Oyarzún, C., Neira, E. 2006. Valuing ecosystem services of chilean temperate rainforest. *Environment, Development and Sustainability* 9 (2007): 481 – 499.
- O'Neill, R. V., Angelis, D. L., Waide, J. B., Allen, T. F. H. 1986. A Hierarchical concept of ecosystem. Princeton University. Press, Princeton. New Jersey vii + 253 pp.
- Oñate-Valdivieso 2004. Metodología para la evaluación del riesgo de erosión hídrica en zonas áridas y su aplicación en el manejo y protección de los recursos hidráulicos. *Revista electrónica de la REDLACH*. N°1 año 1.
- Oyarzabal, N., Oyonarte, C., Giorno, A. 2008. Propuesta de un sistema de seguimiento y alerta para la gestión de espacios protegidos: el caso del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (Almería, España). *Ecosistemas* 17 (3): 98 – 107.
- Oyarzún, C., Nahuelhual, L., Núñez, D. 2004 – 2005. Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. *Revista Ambiente y Desarrollo* 20 (3) – 21 (1): 88 – 95.

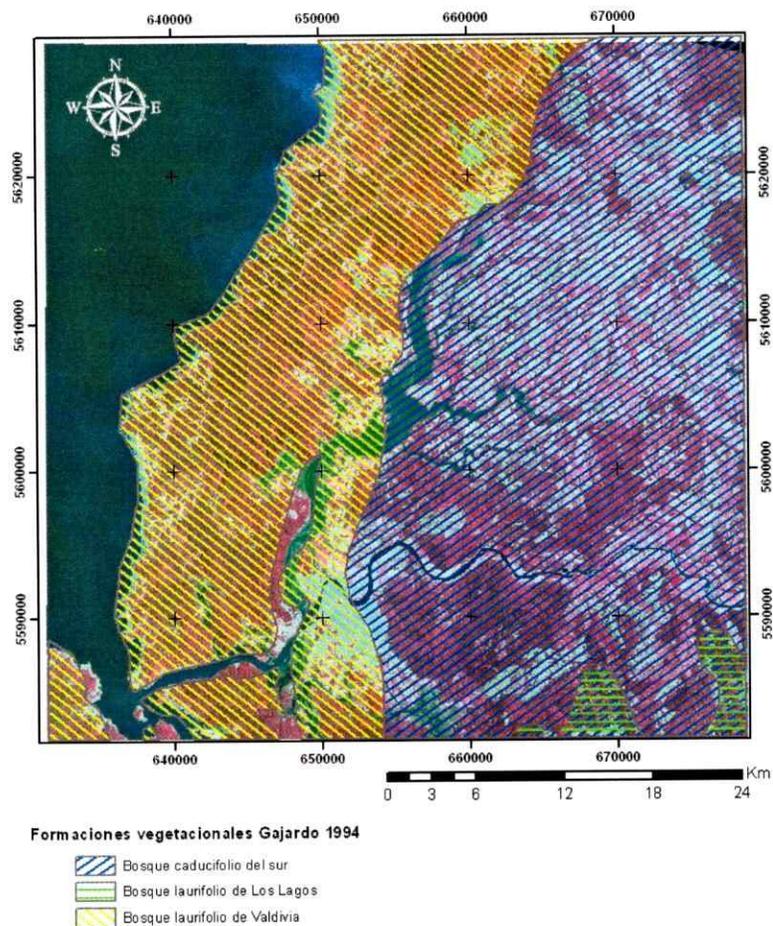
- Palma, M., Cobo, P. 1997. Medio ambiente: Ley N° 19.300 sobre bases generales del medio ambiente. Editorial Jurídica Conosur Ltda. 822 pp.
- Paruelo, J. M. 2008. La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas* 17 (3): 4 -22.
- Perez, F., Moran, R., Sanchez, J. M., Perez, M. 2001. Elaboración del Atlas climático de Extremadura mediante un sistema de información geográfica, *GeoFocus*, n° 1, p. 17-23.
- Pettorelli, N., Vik, J.O., Mysterud, A., Gaillard, J.M., Tucker, C.J., Stenseth, N.C. 2005 Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution* 20:503-510.
- San Martín, C., Medina, R., Ojeda, P., Ramírez, C. 1993. La biodiversidad vegetal del santuario de la naturaleza "Río Cruces" (Valdivia, Chile). *Acta botánica Malacitana* 18: 259 – 279.
- Scaramuzza, P., Micijevic, E., Chander, G. 2004. SLC Gap-Filled Products. Phase One Methodology. [On line: [http://landsat.usgs.gov/documents/SLC\\_Gap\\_Fill\\_Methodology.pdf](http://landsat.usgs.gov/documents/SLC_Gap_Fill_Methodology.pdf)]
- Schlatter, J. E. 1977. La relación entresuelo y plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile central. Análisis de la situación actual y planteamientos para su futuro manejo. *Bosque* 2 (1): 12 – 31.
- Sepúlveda, M. 2010. Análisis de los servicios ecosistémicos de la cuenca del río Aysén: Selección de metodologías de valoración económica y pago por servicios ambientales (PSA). Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago. Chile
- Sherphed, G. 2006. El Enfoque Ecosistémico: Cinco Pasos para su Implementación. UICN. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. 30 pp.
- Tansley, A. 1935. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms. *Ecology* 16 (3): 284 – 307.
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., Steininger, M. 2003. Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 18:306-314.
- Villegas, J. C. 2004. Análisis del conocimiento en la relación agua – suelo – vegetación para el departamento de Antioquía. *Revista EIA* 1 (2004): 73 – 79 [Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/redalyc/pdf/1492/149217763007.pdf> ]

## 6. Anexos

- Anexo 1 Clasificación vegetal de Gajardo (1994) para Valdivia.
- Anexo2 Imágenes de los sistemas muestreados
- Anexo 3 Mapas del catastro vegetal de CONAF con usos de suelo.
- Anexo 4 Tabla de Funciones, procesos y bienes y servicios ecosistémicos de acuerdo a De Groot et al. (2002)

## Anexo 1

Gajardo (1994) propone un nivel jerárquico de clasificación para la vegetación nativa chilena, en donde se distinguen los niveles de región, sub-región, formación vegetacional y las comunidades tipo que la componen. El mapa muestra las formaciones vegetacionales que se encuentran en la zona de estudio y posteriormente se señalan las especies representativas de las principales formaciones, las cuales se encuentran entre un 75 a 100% de la zona de distribución



Fuente coberturas de Gajardo 1994: SINIA territorial

[Disponible en línea: [http://territorial.sinia.cl/ficha/ficha.php?accion=descarga&o\\_id=1667](http://territorial.sinia.cl/ficha/ficha.php?accion=descarga&o_id=1667)]

**Región del Bosque Caducifolio**  
**Sub-región del bosque caducifolio del llano**  
**Formación vegetal: Bosque caducifolio del sur**

Comunidades vegetacionales		Descripción	Nombre común	Especies representativas
<i>Nothofagus obliqua</i> - <i>Laurelia sempervirens</i> Roble - Laurel	Es la comunidad más típica de esta formación, constituyendo el bosque Roble - Laurel. Sus especies dominantes en el dosel superior han perdurado tras la conversión a praderas, creando un paisaje característico de campos arbolados	Laurel Roble Lingue	<i>Laurelia sempervirens</i> <i>Nothofagus obliqua</i> <i>Persea lingue</i>	
<i>Nothofagus obliqua</i> - <i>Podocarpus saligna</i> Roble - Maño de hojas largas	Comunidad de distribución local pero frecuente dentro del territorio de la formación. La presencia de maño de hojas largas se manifiesta en la presencia de bosquecillos densos casi puros	Roble Maño de hojas largas	<i>Nothofagus obliqua</i> <i>Podocarpus saligna</i>	
<i>Aextoxicon punctatum</i> - <i>Laurelia sempervirens</i> Olivillo - Laurel	Comunidad casi típicamente laurifolia que en el pasado debió encontrarse mucho más repartida. Se ubica en laderas sombrias y en el fondo de quebradas	Olivillo	<i>Aextoxicon punctatum</i>	
<i>Rubus ulmifolius</i> - <i>Ulex europaeus</i> Murra - Espinillo	Comunidad de arbustos espinosos invasores que en las últimas décadas han incrementado su distribución. Representa a una comunidad ruderal que se desarrolla con vigor en sectores sometidos a roces y quemas	Michay Murra Espinillo	<i>Berberis darwinii</i> <i>Rubus ulmifolius</i> <i>Ulex europaeus</i>	
<i>Hulcus lanatus</i> - <i>Agrostis tenuis</i> Pasto miel - Pajillo	Comunidad pratense muy rica en especies y ampliamente repartida	Pajillo Pasto miel Hierba del chanchito Llantén Trébol blanco	<i>Agrostis tenuis</i> <i>Hulcus lanatus</i> <i>Hypochaeris radicata</i> <i>Plantago lanceolata</i> <i>Trifolium repens</i>	
<i>Sisymbrium officinale</i> - <i>Dactylis glomerata</i> Mostacilla - Pasto olivillo	Comunidad pratense ruderalizada frecuente en sectores bajos y húmedos	Mostacilla	<i>Sisymbrium officinale</i>	
<i>Plantago major</i> - <i>Poa annua</i> Llantén - Pajillo	Comunidad pratense ruderal	Manzanilla Huica llantén Pajillo Pasto del pollo	<i>Matricaria matricarioides</i> <i>Plantago major</i> <i>Poa annua</i> <i>Polygonum aviculare</i>	
<i>Gratiola peruviana</i> - <i>Plagiobothrys pratense</i> Contrayerba - Plagiobrotis	Comunidad herbácea, palustre, frecuente en el borde de pequeñas lagunas y charcos	Contrayerba	<i>Gratiola peruviana</i> <i>Plagiobothrys pratense</i>	
<i>Juncus procerus</i> - <i>Lotus corniculatus</i> Junquillo - Lotera	Comunidad frecuente en los sectores más húmedos de las praderas	Pasto miel Junquillo Lotera	<i>Hulcus lanatus</i> <i>Juncus procerus</i> <i>Lotus corniculatus</i>	

Región del Bosque Laurifolio Sub-región del bosque laurifolio de Valdivia Formación vegetal: Bosque laurifolio valdiviano			
Comunidades vegetacionales	Descripción	Especies representativas	
		Nombre común	
		Nombre científico	
<i>Aextoxicon punctatum</i> - <i>Eucriphia cordifolia</i> Olivillo - Ulmo	Una de las comunidades más características y frecuentes en el área geográfica de esta formación. Ocupa de preferencia el piso altitudinal intermedio	Olivillo Ulmo	<i>Aextoxicon punctatum</i> <i>Eucriphia cordifolia</i>
<i>Nothofagus dombeysi</i> - <i>Podocarpus saligna</i> Coihue - Maño de hojas largas	Comunidad que se presenta a menudo cubriendo sólo superficies reducidas, pero que tiene una amplia repartición geográfica	Coihue	<i>Nothofagus dombeysi</i>
<i>Eucriphia cordifolia</i> - <i>Weinmannia trichosperma</i> Ulmo - Tinceo	Comunidad boscosa, muy frecuente en el sector sur de la formación, en especial en los pisos altitudinales medios	Ulmo Tepa Tinceo	<i>Eucriphia cordifolia</i> <i>Laurelia philippiana</i> <i>Weinmannia trichosperma</i>
<i>Persea lingue</i> - <i>Eucriphia cordifolia</i> Lingue - Ulmo	Comunidad relativamente escasa, que se distribuye de preferencia en lugares bajos con buenas condiciones de suelo y drenaje. Probablemente haya disminuido su presencia por la ocupación del suelo en praderas y cultivos	Ulmo Lingue	<i>Eucriphia cordifolia</i> <i>Persea lingue</i>
<i>Corynabutilon vitifolium</i> - <i>Aristotelia chilensis</i> Huella - Maqui	Conjunto de arbustos altos, denso, que se distribuye de preferencia donde el bosque ha sido alterado. Sus localidades típicas se encuentran en las vertientes occidentales de la cordillera costera	Maqui Huella	<i>Aristotelia chilensis</i> <i>Corynabutilon vitifolium</i>
<i>Berberis buxifolia</i> - <i>Rhaphithamnus spinosus</i> Calafate - Huayún	Agrupación arbustiva densa y heterogénea, frecuente en los linderos del bosque	Maqui Calafate Huayún	<i>Aristotelia chilensis</i> <i>Berberis buxifolia</i> <i>Rhaphithamnus spinosus</i>
<i>Juncus bufonius</i> - <i>Juncus planifolius</i> Junquillo - Quira	Comunidad hidrófita de juncáceas y eyperáceas que es característica de las vegas de terrenos planos. Muy frecuente	Junquillo Quira del cieno	<i>Juncus bufonius</i> <i>Juncus planifolius</i>

## Anexo 2



*Gabriela Verardi T.*  
Vista del bosque nativo en el Parque Oncol



*Gabriela Verardi T.*  
Chilco (*Fuchsia magellanica*) en Oncol



*Gabriela Verardi T.*  
Sotobosque de Oncol



*Victor H. Martín*  
Pradera verde con pasto



*Victor H. Martín*  
Terreno agrícola café para cultivo – Suelo desnudo



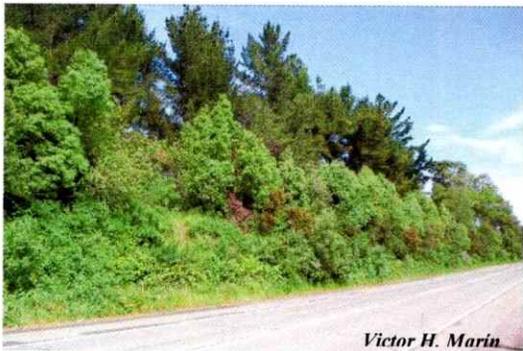
*Victor H. Martín*  
Terreno agrícola verde cultivado



*Victor H. Marin*  
**Bosque mixto hacia Mariquina**



*Victor H. Marin*  
**Bosque mixto en la ladera oriente de la cordillera de la Costa**



*Victor H. Marin*  
**Bosque mixto hacia Mariquina**



*Victor H. Marin*  
**Bosque nativo degradado**



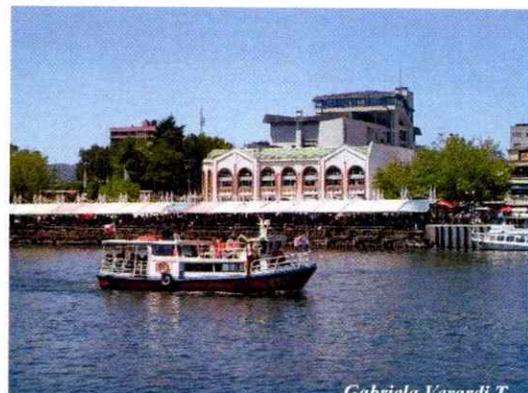
*Victor H. Marin*  
**Plantación de pino en la cordillera de la Costa**



*Victor H. Marin*  
**Plantación de eucalipto en la cordillera de la Costa**

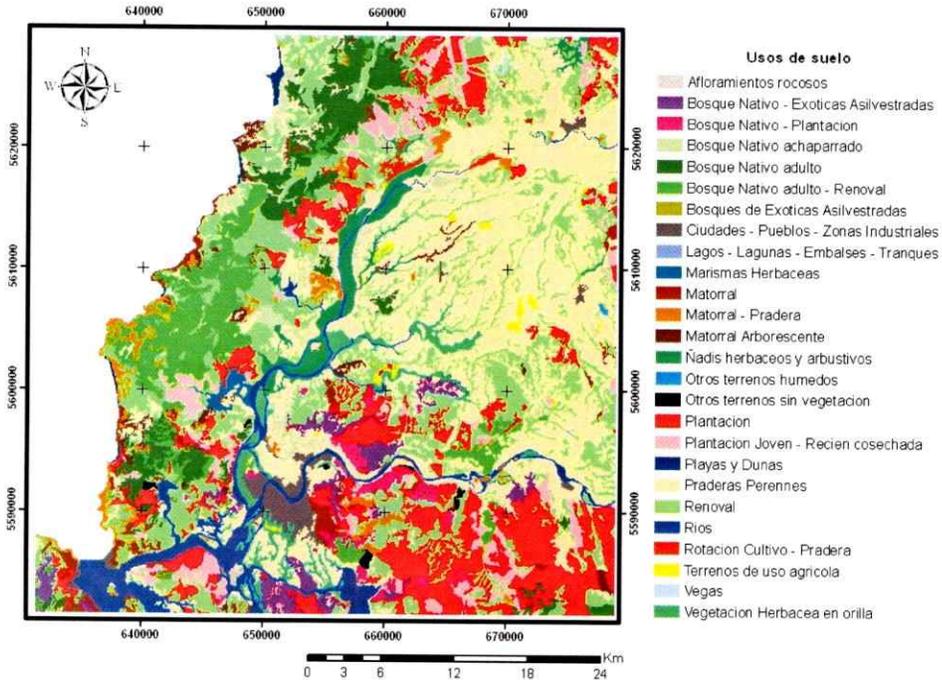


*Victor H. Marin*  
**Familia de cisnes de cuello negro en el humedal río Cruces**

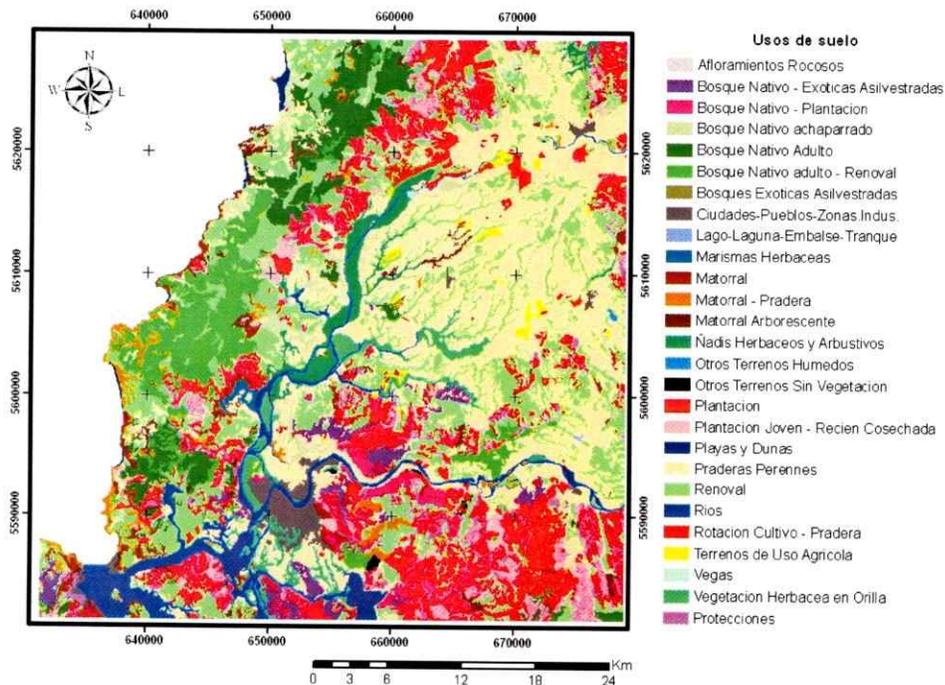


*Gabriela Verardi T.*  
**Feria fluvial de Valdivia y río Valdivia**

## Anexo 3



Catastro vegetacional de CONAF 1994- 1997



Catastro vegetacional de CONAF actualizado para la región de Los Ríos 2006

## Anexo 4

FUNCIONES	PROCESOS Y COMPONENTES ECOSISTÉMICOS	BIENES Y SERVICIOS (EJEMPLOS)
<b>REGULACIÓN</b>	<b>Mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales y de sistemas de soporte de la vida</b>	
Regulación de Gas	Rol de los ecosistemas en los ciclos biogeoquímicos (ejm, balance CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> , capa de ozono, etc.)	1.1 Protección UVB del O <sub>3</sub> (prevención de enfermedades) 1.2 Mantenimiento de la (buena) calidad del aire 1.3 Influencia en el clima
Regulación Climática	Influencia de la cubierta vegetal y biológica sobre la mantención del clima (ejemplo, producción de Dimetil sulfuro)	2. Mantención del clima favorable (temperatura, precipitación) para habitación humana, salud, cultivos
Prevención de Disturbios	Influencia de la estructura de los ecosistemas en la amortiguación de disturbios	3.1 Protección contra tormentas (ejm. Arrecifes de coral) 3.2 Prevención de inundaciones (por los humedales y los bosques)
Regulación de Agua	Papel de la cubierta vegetal en la regulación de la escorrentía y la descarga de ríos	4.1 Drenaje e Irrigación natural 4.2 Medio de Transporte
Abastecimiento de Agua	Filtrado, retención y almacenamiento de agua dulce (ejm, en acuíferos)	5. Suministro de agua para uso consuntivo ( beber, riego, uso industrial)
Retención de Suelo	Rol de la vegetación y de la biota del suelo en la retención de suelo	6.1 Mantención de tierras de cultivo (o suelo arable) 6.2 Prevención de daños de erosión y sedimentación
Formación de suelo	Meteorización de rocas, acumulación de materia orgánica	7.1 Mantenimiento de la productividad en las tierras de cultivo 7.2 Mantenimiento de los suelos productivos
Regulación de Nutriente	Rol de la biota en el almacenamiento y en el reciclado de nutrientes	8. Mantenimiento de suelo sanos y ecosistemas productivos
Tratamiento de Residuos	Rol de la vegetación y la biota en el traslado o distribución de nutrientes xenic y compuestos	9.1 Control de la contaminación/desintoxicación 9.2 Filtrado de partículas de polvo 9.3 Reducción de contaminación acústica
Polinización	Papel de la biota en la circulación de gametos florales	10.1 Polinización de plantas de especies silvestres 10.2 Polinización de cultivos
Control Biológico	Control de la población a través de una relación de dinámica-trófica	11.1 Control de plagas y enfermedades 11.2 Reducción de la herbivoría (daños a los cultivos)
<b>HABITAT</b>	<b>Proporción de hábitat (espacio de vida adecuado) para plantas silvestres y especies de animales</b>	
Función de Refugio	Espacio de vida adecuados para plantas silvestres y animales	12. Mantenimiento de la diversidad biológica y genética (y así, la base de la mayoría de las otras funciones)
Función de semillero	Adecuado hábitat de reproducción	13. Mantenimiento de las especies cosechadas comerciales

<b>PRODUCCIÓN</b>	<b>Provisión de Recursos Naturales</b>	
Comida	Conversión de la energía solar en plantas y animales comestibles	14.1 Caza, recolección de pescado y fruta 14.2 A baja escala subsistencia de la agricultura y acuicultura
Materias Primas	Conversión de la energía solar en biomasa para la construcción y otros usos	15.1 Construcción y Fabricación (maderas, pieles) 15.2 Combustible y energía (leña, materia orgánica) 15.3 Forrajes y fertilizantes (hojas, basura)
Recursos Genéticos	Material genético y evolución de plantas y animales silvestres	16.1 Mejorar la resistencia de cultivos frente a patógenos y pestes 16.2 Otras aplicaciones (cuidado de la salud)
Recursos Medicinales	Variedad de (bio.) sustancias químicas y otros usos medicinales de la biota natural	17.1 Medicamentos y productos farmacéuticos 17.2 Modelos y herramientas químicas 17.3 Pruebas de ensayo y organismos
Recursos Ornamentales	Variedad de la biota de los ecosistemas naturales para un (potencial) uso ornamental	18. Recursos para la moda, la artesanía, joyería, la decoración y recuerdos (por ejemplo, pieles, plumas, marfil, orquídeas, mariposas, peces de acuario, etc.)
<b>INFORMACIÓN</b>	<b>Proporcionar oportunidades para el desarrollo cognitivo</b>	
Información Estética	Características atractivas del paisaje	19. Disfrute de paisajes (carreteras, viviendas, etc.)
Recreación	Variedad de paisajes para (potenciales) usos recreativos	20. Viajes a ecosistemas naturales para ecoturismo, deportes al aire libre, etc.
Información cultural y artística	Variedad de características naturales con valor cultural y artístico	21. Uso de la naturaleza como motivo para libros, películas, pinturas, folklore, símbolos nacionales, arquitectura, publicidad
Información espiritual e histórica	Variedad de las características naturales con valor histórico y espiritual	22. Uso de la naturaleza para fines religiosos e históricos (valor patrimonial de los ecosistemas naturales y sus características)
Ciencia y Educación	Variedad en la naturaleza con valor científico y educacional	23. Uso de los sistemas naturales para excursiones escolares, etc. Uso de la naturaleza para la investigación científica