

UCH-FC
B. Ambiental
A 282
C.1



UNIVERSIDAD DE CHILE -FACULTAD DE CIENCIAS-ESCUELA DE
PREGRADO

Análisis temporal de los cambios en el uso del suelo en la sub-cuenca del Humedal del Río Cruces, Valdivia.

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

BELÉN AGÜERO VALENZUELA

Dr. Víctor H. Marín
Director de Seminario de Título

Dra. Luisa E. Delgado
Co-Directora de Seminario de Título

Laboratorio de Modelación Ecológica, Departamento de Ciencias ecológicas,
Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

Julio, 2014

Santiago - Chile



ESCUELA DE PREGRADO-FACULTAD DE CIENCIAS - UNIVERSIDAD DE 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 Srta. Belén Agüero Valenzuela

Análisis temporal de los cambios en el uso del suelo en la sub-cuenca del Humedal del Río Cruces, Valdivia.

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

Dr. Víctor H. Marín
Director de Seminario de Título

Dra. Luisa E. Delgado
Co-Directora de Seminario de Título

Comisión de Evaluación

Dr. Ramiro Bustamante
Presidente Comisión

Dr. Luis Morales
Evaluador

Santiago de Chile, Julio de 2014



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas aquellas personas que estuvieron conmigo en este largo e intrincado proceso. En particular a mi mamá, por haber estado siempre a mi lado en cada uno de mis múltiples estados de ánimo. A mi familia por nunca dejar de creer en mí y brindarme todo su apoyo y cariño. Sin dejar de agradecer a Mila por la alegría y amor entregados día a día.

Le doy gracias también a mis amigos, con especial énfasis a la Kika y a mis ambientales, por los acogedores consejos y el amparo entregado.

Gracias a mis compañeros de laboratorio por la compañía y orientación

Y asimismo agradezco a mis tutores, Profesor Víctor Marín y Profesora Luisa Delgado, por recibirme e instruirme otorgándome las herramientas necesarias para iniciar mi carrera académica con éste seminario de título.

Este seminario de título fue financiado por el Proyecto Fondecyt N° 1110077, titulado "The 2004 ecosystem regime shift of the Rio Cruces wetland: testing the water depth hypothesis through numerical modeling and remote sensing analyses" a cargo del Profesor Víctor Marín, con el respaldo del Laboratorio de Modelación Ecológica.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Humedales y sus amenazas	1
1.2 Sensoramiento Remoto.....	3
1.3 Planteamiento del problema.....	5
2. OBJETIVOS.....	8
2.1 Objetivo General	8
2.2 Objetivos específicos.....	8
3. METODOLOGÍA	9
3.1 Área de estudio	9
3.2 Caracterización del área de estudio	10
3.2.1 Descripción Ecológica	10
3.2.2 Descripción Física	11
3.2.3 Descripción entorno Físico	13
3.3 Metodología.....	14
3.3.1 Cartografías Catastro de Vegetación de CONAF	14
3.3.2 Procesamiento de imágenes	14
3.3.3 Índice NDVI.....	16
3.3.4 Entrevistas.....	17
4. RESULTADOS	19
4.1 Cartografía Catastro de Vegetación CONAF	19
4.2 Análisis de variación del índice de NDVI.....	23
4.3 Entrevistas.....	30
5. DISCUSIÓN	36
6. CONCLUSIÓN.....	42
7. BIBLIOGRAFÍA.....	43
8. ANEXOS	49
ANEXO 1. Entrevistas	50
ANEXO 2. Resultado coberturas de uso del suelo	52

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de instituciones que fueron consideradas para la entrevista, relacionadas al uso del suelo de la subcuenca del humedal del río Cruces	18
Tabla 2. Valores de NDVI promedio para la imagen de las cuatro zonas de interés en las distintas fechas disponibles	24

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio. División de la sub-cuenca del Humedal Río Cruces en 4 zonas.....	9
Figura 2. Gráfico de coberturas del uso de suelo para el área de estudio en los años 1996 y 2006.....	19
Figura 3. Gráfico de coberturas del uso de suelo para el área de Pichoy Agrícola en los años 1996 y 2006.....	21
Figura 4. Gráfico de coberturas del uso de suelo para el área de Pichoy Bosque en los años 1996 y 2006.....	21
Figura 5. Gráfico de coberturas del uso de suelo para el área de Cayumapu en los años 1996 y 2006.	22
Figura 6. Gráfico de coberturas del uso de suelo para el área de Oncol en los años 1996 y 2006.....	23
Figura 7. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Pichoy Agrícola en el periodo comprendido entre Febrero de 1998 y Octubre del 2001.....	25
Figura 8. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Pichoy Agrícola en el periodo comprendido entre Noviembre del 2001 y Febrero del 2005.	26
Figura 9. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Pichoy Bosque en el periodo comprendido entre Febrero de 1998 y Octubre del 2001.....	27
Figura 10. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Pichoy Bosque en el periodo comprendido entre Noviembre del 2001 y Febrero del 2005	27
Figura 11. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Cayumapu en el periodo comprendido entre Febrero de 1998 y Octubre del 2001.....	28
Figura 12. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Cayumapu en el periodo comprendido entre Noviembre del 2001 y Febrero del 2005.	28

Figura 13. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Oncol en el periodo comprendido entre Febrero de 1998 y Octubre del 2001.....	29
Figura 14. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Oncol en el periodo comprendido entre Noviembre del 2001 y Febrero del 2005.	29
Figura 15. Muestra las respuesta de los entrevistados a la pregunta ¿Ha observado algún tipo de cambio en la cuenca?.....	30
Figura 16. Alusiones de los entrevistados al tipo de cambio observado.	31
Figura 17. Respuesta de los entrevistados en relación al tipo de actividad que predomina en la zona.....	31
Figura 18. Respuestas de los entrevistados en relación a la actividad que predomina en cuanto a su superficie	32
Figura 19. Tipos de cambios percibidos por los entrevistados. Los sectores mencionados corresponden a: Agrícola (A), Forestal (F) entendido como plantaciones exóticas, Ganadero (G) y bosque nativo (BN).	33
Figura 20. Número de menciones a los distintos cultivos que se desarrollan en el área de estudio.	33
Figura 21. Respuesta de los entrevistados en torno a si los tipos de cultivos se han mantenido invariables en el tiempo	34

ABREVIATURAS

CONAF: Corporación Nacional Forestal.

CRDP: Corporación Regional de Desarrollo Productivo

INDAP: Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario

INIA: Instituto de Investigación Agropecuarias

INFOR: Instituto Nacional Forestal

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

SAG: Servicio Agrícola y Ganadero

SIG: Sistemas de Información Geográfica.

SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental.

USGS: United States Geological Survey

RESUMEN

Se realizó un análisis de los cambios temporales en el uso del suelo en la sub-cuenca del Humedal Río Cruces ubicado al norte de la ciudad de Valdivia. Para ello la sub-cuenca se dividió en cuatro zonas: Pichoy Agrícola (391,1km²), Pichoy Bosque (648km²), Cayumapu (366,4km²) y Oncol (122,7km²). Los resultados surgen de tres tipos de análisis: 1) cambio en coberturas de uso de suelo entre los años 1996 y 2006, obtenidas de datos cartográficos de CONAF 2) tendencia interanual, entre los años 1998 y 2005, de la cobertura vegetal de la sub-cuenca mediante el índice NDVI de imágenes Landsat TM y 3) entrevistas a actores claves. De éstos se concluye que ha habido cambios en la cuenca en el periodo de estudio, del cual sobresale el aumento de las plantaciones forestales a expensas de la cubierta matorral-pradera. En relación al índice NDVI, éste presenta una tendencia significativa a la disminución entre Noviembre del 2001 y Febrero del 2005 para las zonas de P. Bosque, Cayumapu y Oncol. Los resultados sugieren que podría haber una implicancia del cambio de uso del suelo sobre el cambio de estado ocurrido en el humedal el año 2004.

ABSTRACT

A temporal analysis of land use changes was made in the sub-watershed of the Río Cruces wetland, located north of Valdivia city. The sub-basin was divided in four areas: Pichoy Agrícola (391,1km²), Pichoy Bosque (648km²), Cayumapu (366,4km²) y Oncol (122,7km²). Results were based on three different types of analysis; 1) Land cover changes between years 1996 and 2006 using CONAF cartographic data. 2) Interannual vegetation cover trends between years 1998 to 2005 using Landsat NDVI data, and 3) Interviews with key stakeholders. We conclude that there have been changes in the study area over the last decades, mainly due to the increase of pine forest plantations replacing previous scrub-grassland cover. The NDVI showed a significant negative trend between November 2001 and February 2005 for Pichoy, Cayumapu and Oncol areas. Results suggests that the regime shifts occurred in the wetland in 2004 could be associated this land use change.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Humedales y sus amenazas

Los humedales son uno de los tipos de ecosistemas de mayor importancia a nivel global (CONAMA-CEA, 2006) pues brindan una serie de beneficios que contribuyen no solo al bienestar humano sino que a la totalidad del Planeta. Estos desempeñan un rol fundamental en la adaptación al cambio climático atenuando sus efectos; además mantienen múltiples servicios ecosistémicos (Correa-Araneda y col., 2011; RAMSAR, 2006; Muñoz-Pedreros 2003).

Según la definición de la Convención de Ramsar, los humedales son “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (RAMSAR, 2013), o también llamados ecosistemas de transición dado el carácter acuático y terrestre que presentan a la vez.

Estos ecosistemas, además de ser los que proporcionan la mayor cantidad de servicios asociados al bienestar humano, como lo son la conservación de la diversidad biológica, el embellecimiento escénico y el abastecimiento de alimentos y agua potable (Correa-Araneda y col., 2011; RAMSAR, 2006) por citar algunos, resultan esenciales para la naturaleza del ciclo hidrológico (MEA, 2005), lo que realza aún más su importancia. El agua constituye parte esencial de todo ecosistema y su reducción ya sea en cantidad y/o en calidad conlleva efectos negativos significativos en sus componentes e interacciones (UNESCO, 2003). A su vez, el régimen hidrológico y la topografía son los principales determinantes de las

funciones ecológicas que desempeña un humedal, ya que éstas derivan en las condiciones fisicoquímicas del agua y por ende en los procesos biológicos que ahí ocurran (MEA, 2005).

Hoy en día, producto de diversos factores, los humedales han experimentado variados cambios en la calidad física y química de sus aguas lo que los cataloga como los ecosistemas más amenazados de la biósfera (Marín y col., 2006). En efecto O'Connell (2003), indica que más del 50% de los humedales del mundo se han degradado, alterado o perdido en los últimos 150 años, señalando a las distintas actividades antropogénicas como la principal causa. Entre ellas, las prácticas agrícolas y los cambios en el uso del suelo destacan como las más fuertes amenazas, debido al aporte de sedimentos producto de la erosión, el aumento de las extracciones de agua para riego y la filtración de nutrientes y pesticidas desde las tierras cultivadas (Brinson & Eckles, 2011; De Steven & Lowrance, 2011; Huang y col., 2012; Davis & Froend, 1999; MEA, 2005).

Asimismo, desde la década de los setenta se viene observando un aumento en la coloración de las aguas de los países escandinavos; tal ha sido la magnitud del fenómeno que desarrollaron un nuevo término para describirlo: *brownification*, o cambio a color marrón, el cual alude directamente al oscurecimiento de las aguas asociado principalmente a un incremento en la concentración de la materia orgánica. Sin embargo habrían otros factores además de este implicadas en el fenómeno, entre los cuales se mencionan la concentración de hierro (Kritzberg & Ekström, 2012), el flujo y concentración de sulfato (Erdlansson y col., 2008), el drenaje, el cambio climático y los cambios en el uso de suelo (Tuvendal & Elmqvist, 2011).

En particular, los cambios en el uso del suelo son considerados como una de las alteraciones humanas de mayor importancia debido a sus efectos en la estructura de los ecosistemas y su biodiversidad, lo que se refleja también en la modificación del funcionamiento y los servicios ecosistémicos que proveen (Peña & Cortés, 2009). Recientemente, gracias al desarrollo de técnicas asociadas al uso de imágenes satelitales, el estudio de las transformaciones antropogénicas del paisaje ha aumentado, indagando en diversos aspectos ya sea en las consecuencias ecológicas y sociales, las causas de transformación o bien en la reconstrucción de los paisajes de antaño (Aguayo y col., 2009). Debido a la importancia social y ecológica de los humedales, así como el aumento de las amenazas de origen antrópico en estos ecosistemas, este Seminario de Título tuvo como objetivo principal el análisis temporal (1998-2005) de los cambios en el uso del suelo en la zona aledaña al humedal del Río Cruces, Valdivia, Chile, mediante herramientas de teledetección.

1.2 Sensoramiento Remoto

El uso de información satelital, conocida como sensoramiento remoto, se ha hecho cada vez más recurrente en el área de la ecología. Su principal foco se ha desarrollado en torno a la caracterización de la estructura del paisaje (Paruelo, 2008), en donde gracias a los avances en la tecnología de la teledetección y el reconocimiento del potencial que posee para el monitoreo de variables ambientales y ecológicas, hoy en día es posible identificar los procesos de cambio en la cobertura del suelo así como su ubicación (Aguayo y col., 2009; Setiawan & Yoshino, 2012).

Los sensores satelitales registran la energía electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo o superficie en distintas bandas del espectro electromagnético, de manera tal que a partir de su comportamiento espectral se pueden distinguir los distintos elementos del paisaje (Chuvieco, 2002). De esta forma las imágenes de satélites multi-temporales y multi-espectrales resultan un medio eficaz en el seguimiento de los impactos del hombre sobre el medio natural, ya que ofrecen una amplia visión temporal y espacial de la cobertura y desarrollo de la vegetación. Dentro de las ventajas del uso de herramientas de teledetección destaca el hecho de poder realizar el estudio de un mismo proceso a distintas escalas espacio temporales utilizando el mismo protocolo de observación, así como abarcar grandes áreas de estudio a un bajo costo (Underwood y col., 2006).

La teledetección se encarga de la obtención de imágenes y su posterior procesamiento e interpretación. Como una forma de mejorar esto último se han desarrollado una diversidad de índices espectrales con vastas aplicaciones tales como la clasificación del paisaje, detección del clima, pérdida de hábitat y cambios en el uso de suelo, entre otros (Glenn, 2008). En particular, el índice de vegetación normalizado (NDVI por sus siglas en inglés) es uno de los más utilizados dada la simplicidad de su cálculo y su fuerte relación con la biomasa, el índice de área foliar y la productividad total de una región, proporcionando información sobre la distribución espacial y temporal de las comunidades vegetales (Paruelo, 2008; De la Maza, 2009). Finalmente las técnicas de sensoramiento remoto pueden integrarse al uso de sistemas de información geográfica (SIG) dando pie a nuevas herramientas de estudio y gestión de los recursos naturales (Verardi, 2013; CIREN, 2010).

1.3 Planteamiento del problema

El uso del suelo y su dinámica de cambio tienen estrecha relación con la historia de una región (Isaac- Marques y col, 2005). Es así como en Chile las principales causas de transformación del paisaje se deben en un inicio a un importante aumento poblacional, que derivó posteriormente en la subdivisión de tierras y la destrucción de grandes extensiones de bosques para la habilitación de terrenos agropecuarios a modo de satisfacer la demanda externa de productos agrícolas (Frêne y Nuñez, 2010). Luego, en la década de los 30's se inicia un fuerte incentivo a la forestación por parte del Estado, pero no es sino hasta los años 70's (cuando el modelo económico cambia de manera decisiva) que comienza la acelerada expansión forestal, donde la gran mayoría de los bosques del Estado pasan a manos del sector privado e irrumpe la actividad forestal basada en plantaciones exóticas de rápido crecimiento (Aguayo y col., 2009).

La Región de Los Ríos, en la cual se desarrolló este estudio, es la segunda en términos de superficie de bosque nativo luego de la Región de Aysén y representa un claro ejemplo de la situación expuesta anteriormente. Esta región sufrió una seria transformación cuando más de la mitad del bosque nativo fue convertido en plantación, pasando de 29.579ha de plantación exótica en el año 1975 a un total de 211.686ha para el año 2000 (Universidad de Chile, 2005). Nuñez (2011) concluye que la degradación del bosque, producto de la extracción de leña, junto con la deforestación serían los principales factores que determinan los cambios en el uso del suelo de la región.

Los efectos de los cambios en el uso de suelo, así como los impactos de la actividad forestal, se encuentran ampliamente documentados (Torres, 2012). Estos se relacionan principalmente a la regulación del ciclo hidrológico y la calidad de las

aguas, pues las extensas superficies de plantaciones forestales producirían una disminución en los caudales al verse alterada la precipitación que llega a la superficie producto de la intercepción de las copas y las tasas de evapotranspiración (Huber, 1993; Little y col., 2009). Por otro lado, los sistemas de cosecha disminuyen la productividad de los suelos debido a la erosión, además de favorecer el arrastre de sedimentos hacia los cursos de agua (Frêne, 2010; AIFBN 2011).

En el año 2004, el humedal Río Cruces sufrió un cambio de estado debido a la brusca disminución de la macrófita dominante *Egeria densa* (Marín y col. 2009). Este tipo de cambio ocurre cuando las condiciones internas y externas de un ecosistema experimentan variaciones, las cuales surgen a partir de una perturbación en donde al verse sobrepasado cierto umbral en alguna variable controladora, se genera la re-organización completa del ecosistema provocando que éste pase de un estado a otro (Tironi, 2012). Independiente del tipo de perturbación, los estados alternativos surgen de cambios rápidos y catastróficos que comprometen a la estructura, función y dinámica de un ecosistema, provocando que los cambios de estado se asocien a importantes pérdidas de diversa índole como la pérdida de recursos ecológicos o bien recursos económicos, ya que la restauración hacia un estado deseado puede requerir de una costosa intervención (Scheffer y col., 2001).

Uno de los cambios de estado más estudiados es la pérdida repentina de la transparencia y vegetación en aguas someras (Scheffer y col., 2001), en donde la transparencia estaría determinada por la presencia de macrófitas que al reducir la fuerza de las corrientes disminuyen la resuspensión de sedimentos, mientras que en su ausencia la resuspensión además de impedir la recolonización de las

macrófitas favorece el crecimiento del fitoplancton aumentando de esta forma la turbidez del agua (Tironi, 2012). Es justamente este cambio el experimentado por el humedal Río Cruces, pasando de un estado de aguas claras, dominado por macrófitas acuáticas, a uno de aguas turbias dominado por fitoplancton (Marín y col., 2009). Al respecto surgieron varias hipótesis en torno a las causas de este cambio, cuyos planteamientos se relacionan principalmente con la contaminación directa y difusa de las aguas, así como también con la intervención humana reflejada en fenómenos como la erosión generada por los distintos usos de la tierra (Torres, 2012; Sepúlveda & Villarroel, 2010; Marín & Delgado, 2008).

Desde esta perspectiva, dentro de la cual se enmarca este seminario de título, se propone que la actividad antropogénica en la sub-cuenca podría haber sido una de las causas de las perturbaciones del humedal. En este se evalúan los cambios en el uso del suelo en zonas aledañas al humedal del Río Cruces, donde la actividad silvoagropecuaria es aquella que prima en cuanto a su superficie en el territorio (Torres, 2012) lo que ha conducido a que la zona presente un alto grado de vulnerabilidad a la erosión (Verardi, 2013).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Realizar un análisis temporal (1998-2005) de los cambios en el uso del suelo en la zona aledaña al humedal del Río Cruces mediante herramientas de teledetección.

2.2 Objetivos específicos

- 1.- Comparar las coberturas de uso de suelo, generadas por CONAF, entre los años 1996 y 2006 en el área de estudio.
- 2.- Analizar las variaciones del índice NDVI, por medio de imágenes Landsat TM, para la zona de estudio entre los años 1998 y 2005.
- 3.- Analizar mediante entrevistas a actores clave la percepción respecto de los cambios en el uso del suelo en la zona aledaña al humedal del Río Cruces

3. METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

El área de estudio se emplaza en las zonas aledañas al humedal Río Cruces, zona protegida bajo la categoría de santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter. Éste se ubica al norte de la ciudad de Valdivia en la XIV Región de Los Ríos (coordenadas 39° 41'S, 73° 11'O) y posee una extensión de 48,77 Km² (Di Marzio & McInnes, 2005). Para efectos de este seminario de título el área se dividió en cuatro zonas de influencia en el estado del humedal, las cuales comprenden en total una superficie de 1529,7 Km² (Figura 1).

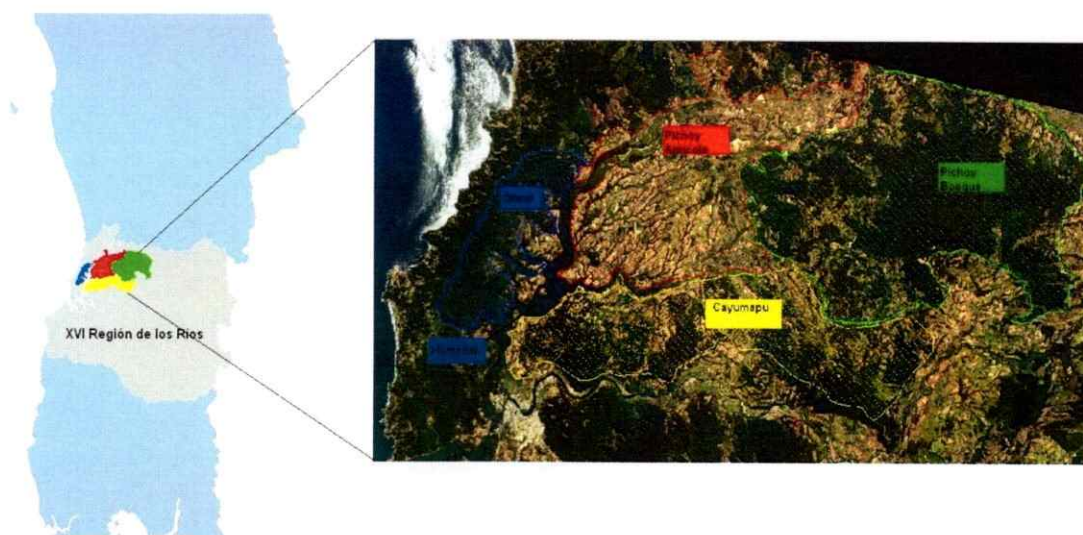


Figura 1. Área de estudio. División de la sub-cuenca del Humedal Río Cruces en 4 zonas.

3.2 Caracterización del área de estudio

3.2.1 Descripción Ecológica

El Humedal Río Cruces debe su origen al gran terremoto de 1960 que afectó al sur de Chile, pues producto de los intensos movimientos telúricos vastas zonas del último tramo de los cauces de los ríos Cruces, Pichoy y Cayumapu sufrieron un descenso y posterior anegamiento (Muñoz-Pedrerros, 2004), desarrollándose de esta forma hualves, pantanos y bañados que van desde el borde del humedal al cauce del río. Los primeros se corresponden a los bosques pantanosos de mirtáceas inundados en las estaciones de lluvias, los segundos a la vegetación palustre (totoras, juncos, batros y carrizos) y los bañados a zonas someras con abundante presencia de sedimento en el sustrato que no superan los 2m de profundidad (Muñoz-Pedrerros, 2004).

La formación de las zonas inundadas dio paso al establecimiento de nuevas comunidades de vegetación acuática, diversificándose luego en nuevas especies de flora y fauna, en donde la flora del humedal se compone de 80 especies del tipo acuática y palustre de las cuales 15 tienen problemas de conservación a escala nacional (RAMSAR, 2012), mientras que la fauna se compone de variadas especies de peces (19), anfibios (8), aves (119) y mamíferos (20) cuyo número asciende a 24 especies en categoría de máxima amenaza a nivel nacional y 13 especies en peligro de extinción. Hasta antes del año 2004, entre la vegetación del humedal resaltaba la planta acuática *Egeria densa* (luchecillo) por ser ésta la especie notoriamente con mayor cobertura y por ende constituirse como el principal alimento del Cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*), especie vulnerable que contaba con una importante colonia de nidificación en el área.

3.2.2 Descripción Física

3.2.2.1 Hidrología y clima

El humedal abarca los últimos 25Km del Río Cruces, el cual nace en la precordillera al sur de la provincia de Cautín pasando por los pueblos de Loncoche, Lanco y San José de la Mariquina (RAMSAR, 1998). Éste cuenta con 2 importantes afluentes: los ríos Nanihue y Pichoy que junto con otros tributarios, también de agua dulce, poseen un importante valor hidrológico, ya que captan diversos contaminantes como lo son los sedimentos agrícolas, cargados de fertilizantes y pesticidas, sedimentos de actividad erosiva y coliformes fecales derivados de los poblados aguas arriba, los cuales pueden alterar el estado de las aguas.

La cuenca del Río Cruces corresponde a un sistema lótico que posee un régimen hidrológico netamente pluvial, presentando los mayores caudales en el periodo de invierno y los menores escurrimientos en los meses de verano (DGA, 2004). En el sitio se presentan dos tipos climáticos: el tipo templado cálido en el sector norte del humedal y el templado frío lluvioso con influencia mediterránea en el sector sur. Ambos se caracterizan por presentar precipitaciones a lo largo de todo el año con una considerable concentración en los meses invernales. Las temperaturas medias anuales en el sector sur alcanzan los 12°C, con máximas y mínimas de 17°C y 7 °C respectivamente, mientras que las temperaturas medias anuales en el sector norte alcanzan los 11°C, con máximas superiores de 23°C y mínimas inferiores de 0°C (RAMSAR, 2012).

3.2.2.2 Geología e hidrogeología

El área se ubica en la depresión de San José, caracterizada por zonas planas con terrenos permanentemente inundados y vegas no inundadas durante todo el año. Por el valle central de la cuenca escurren dos acuíferos sobre un medio compuesto

de material de relleno o depósitos no consolidados de origen glacial constituido por morrenas y materiales aluviales de alta permeabilidad (RAMSAR, 2012).

Las formaciones geológicas del área se componen de tres unidades: la cordillera de la costa, la depresión intermedia y la cordillera de los andes las cuales se conforman a su vez por tres tipos de rocas principalmente, rocas Q1g1, Q1g2 que corresponden al tipo sedimentaria del Pleistoceno-Holoceno, y rocas PzTr4 que corresponden al tipo metamórficas del Paleozoico-Triásico formadas por depositación de sedimentos fluviales y marinos y por material de origen volcánico surgido en el último periodo interglacial (DGA, 2004; RAMSAR, 2012).

3.2.2.3 Suelos y sedimentos

El lecho del río se constituye de restos marinos postglacial sobre turba postglacial, con depósito de sedimentos con arena predominantemente, seguida de fango y una pequeña fracción de grava. En las zonas someras prevalece el fango con un abundante contenido de materia orgánica.

El suelo de los alrededores es de origen periglacial en terrazas y ripio del pleistoceno con toba volcánica y toba de arena consolidada. En la zona de la Cordillera de la costa predominan los suelos del tipo rojo arcillosos con presencia de arcilla metamórfica. En el sector oriente, zona dominada por terrenos agrícolas, se presentan suelos del tipo "Trumaos" los cuales consisten en cenizas volcánicas sobre arenisca cimentada desarrollada sobre una topografía plana a ligeramente disectada, al igual que se encuentran suelos "Ñadis" que son aquellos depositados sobre planos fluvioglaciares, caracterizados por presentar fuertes inundaciones durante el invierno y una baja retención de agua en períodos de sequía.



3.2.3 Descripción entorno Físico

Las localidades urbanas más importantes asociadas al área de influencia del humedal son: Loncoche (Región de la Araucanía), Lanco, San José de la Mariquina, Máfil y Valdivia (Región de los Ríos) (RAMSAR, 2012), de las cuales Mariquina y Máfil son las que cubren mayor superficie del área de estudio.

En relación a los sectores inundados del humedal, éstos se consideran bienes nacionales de uso público. Sin embargo varios de los terrenos dentro de los límites del Santuario son de propiedad privada, mientras que la totalidad de los terrenos circundantes corresponden a la propiedad privada, que van desde pequeños propietarios ha muy grandes propietarios, pertenecientes en su mayoría a empresas forestales (RAMSAR, 2012). De hecho, el sector forestal es por el momento el que prima en cuanto a las inversiones (Coper y col., 2005), mientras que el sector agropecuario es el que predomina espacialmente.

De acuerdo a los usos de suelo dentro de la cuenca le sigue en orden decreciente al sector agropecuario, la cubierta forestal de bosque nativo y plantaciones exóticas. En general, las zonas agrícolas junto con matorrales y praderas (especialmente utilizadas para la alimentación del ganado) se emplazan en las planicies aledañas al río y humedal, sobretudo en el lado oriente, mientras que la explotación de plantaciones exóticas domina el sector occidental, principalmente en la Cordillera de la Costa. Por otro lado, el bosque nativo se encuentra en lugares donde la pendiente es más pronunciada, suele ubicarse en zonas de mayor altitud dentro de la subcuenca (RAMSAR, 1998; Torres, 2012). Los remanentes de bosque nativo que se pueden encontrar son, de acuerdo a la clasificación de Gajardo (1994): bosque Caducifolio del llano, bosque caducifolio andino, bosque laurifolio de Valdivia y bosque siempre verde con coníferas.

3.3 Metodología

3.3.1 Cartografías Catastro de Vegetación de CONAF

Se obtuvieron archivos vectoriales generadas por CONAF en el marco del proyecto "Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile" (CONAF, 2011). La información cartográfica cuenta con datos de especies, uso de suelo, variables ambientales (pendiente, altitud, exposición), hidrografía, centros poblados del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas, red vial, entre otros. De éstos, se utilizó la información de uso de suelo de la región de Los Ríos de los años 1996 y 2006.

Mediante el programa Arcview GIS 3.3, se aplicó la función "Clip" para recortar el archivo en los polígonos correspondientes al área de estudio. Posteriormente, las categorías de usos de suelo de CONAF se reagruparon, en donde las categorías "bosque nativo adulto denso", "bosque nativo adulto semidenso", "bosque nativo achaparrado", etc., se reunieron en una sola categoría bajo el nombre "bosque nativo", de tal manera que se trabajó con un total de 9 categorías: Bosque Nativo, Bosque Mixto, Renoval, Plantación, Matorral-Pradera, Terrenos Agrícolas, Urbano/Sin Vegetación, Cuerpos de agua y Humedal.

3.3.2 Procesamiento de imágenes

Se descargaron 24 imágenes satelitales, Landsat, del periodo comprendido entre 1984 y 2005. Éstas se obtuvieron del Centro de Observación de Recursos de la Tierra y Ciencia (EROS), perteneciente al Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2013), a través del visor de visualización global del USGS, GLOVIS (<http://glovis.usgs.gov/>), utilizando el Path/Row 233/88 del sistema de referencia mundial 2 (WRS-2), con un punto central en 40° 18'S, 72° 48'W.

Debido a que el proceso de adquisición de la información por los sensores remotos se encuentra sujeto a una serie de errores, es que resulta necesario aplicar un tratamiento previo que los corrija, lo que se conoce como pre-procesamiento de las imágenes. Éste fue realizado por medio de ENVI 4.8, un software de procesamiento de imágenes que permite realizar, entre otros, análisis multiespectrales.

El sensor del satélite Landsat ETM almacena la intensidad de la energía electromagnética como números digitales (ND), por lo que el primer paso es convertir dichos valores en reflectancia exoatmosférica. Para ello se utilizó la función "Landsat calibration" disponible en ENVI 4.8. Posteriormente, debido a un desperfecto en el corrector de la línea de scan (SCL) del satélite Landsat ETM el 31 de Mayo del 2003, es que las imágenes posteriores a dicha fecha poseen un bandeo, el cual corresponde a la pérdida de alrededor del 22% de los datos a causa de vacíos en la imagen, para ello a través de la herramienta "Landsat gapfill" se llevó a cabo la técnica propuesta por Sacaramuzza y col. (2004) a todas las imágenes posteriores a Mayo del 2003. Finalmente se aplicó la rutina "Quick atmospheric correction" (QUAC) del mismo software para generar valores de reflectancia de superficie, y así eliminar el efecto de absorción y dispersión de las ondas provocadas por la atmósfera.

Una vez descargadas y corregidas las imágenes satelitales se procedió a la sectorización del área de estudio mediante la herramienta ROI tool de ENVI 4.8 en cuatro zonas de interés (Figura 1): Pichoy Agrícola (391,1 km²), Pichoy Bosque (648,5 km²), Oncol (122,7 km²) y Cayumapu (366,4 km²), por ser éstas regiones que comparten características similares y por lo mismo facilitan el análisis de los cambios ocurridos. Así, Pichoy Agrícola corresponde a una zona donde prevalece un uso de suelo agrícola con un alto porcentaje de praderas, Pichoy bosque es una zona dominada por bosques, tanto nativos como de exóticas, Oncol recae en un

área silvestre protegida privada creada en 1989 por el grupo ARAUCO, por lo que en su superficie prima el bosque nativo y por último Cayumapu ubicado en la zona baja del área de estudio alberga diversos usos de suelos tales como praderas, renovales y plantaciones. El recorte del área fue aplicado a cada una de las 24 imágenes.

Luego, de cada uno de los recortes se obtuvo el índice de NDVI a través de la herramienta *transform NDVI*. Sin embargo, aquellas imágenes que contenían sobre un 12% de nubosidad fueron descartadas, quedando así 20 imágenes para la región Pichoy Agrícola, 15 para Pichoy Bosque, 23 para Cayumapu y 21 para Oncol. Subsecuentemente, cada imagen se transformó en grilla mediante el software ERDAS IMAGINE 9.2, para después ser utilizadas por el programa Arcview Gis 3.3, donde con el uso de las extensiones Spatial Analyst y Grid machine se eliminaron del cálculo de NDVI las celdas correspondientes a nubes y a valores no data.

Por último, se analizaron las tendencias de los valores promedio de NDVI de cada imagen mediante regresiones lineales con el programa SYSTAT 12.

3.3.3 Índice NDVI

Con el propósito de mejorar la discriminación de las cubiertas de uso de suelo se utilizó el índice de vegetación normalizado (NDVI), el cual se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R)$$

Donde IR corresponde a los valores de la banda infrarrojo cercano y R a los valores de la banda rojo dentro del espectro electromagnético.

Éste índice toma valores entre (-1) y (+1) y se sustenta en el hecho de que la clorofila absorbe fuertemente la radiación electromagnética en la banda del rojo del espectro, correspondiente a la banda 3 del satélite Landsat, mientras que los tejidos de las plantas reflejan en gran medida en la banda infrarroja, correspondiente a la banda 4 del mismo satélite. Por ello altos valores del índice se interpretan como la presencia de abundante masa vegetal, mientras que valores bajos se corresponden con vegetación muerta o senescente, o bien zonas con suelo sin vegetación. El valor del NDVI puede variar en función del uso de suelo, estación fenológica, situación hídrica del territorio y ambiente climático de la zona.

3.3.4 Entrevistas

La entrevista se entiende como la obtención de información mediante una conversación de naturaleza profesional, en la cual la realidad a observar corresponde a datos objetivos y subjetivos del entrevistado (Sierra Bravo, 2003). Con el fin de complementar la información proporcionada por las imágenes satelitales se llevó a cabo una serie de entrevistas a actores claves; es decir a individuos que poseen el poder y la capacidad para decidir e influir de manera significativa en el tipo de uso de suelo que se desarrolla en la región, los cuales en esta ocasión pertenecen a instituciones gubernamentales expuestas en la Tabla 1.

Las entrevistas realizadas fueron semiestructuradas y focales, que es un tipo de entrevista basada en un cuestionario previo que se orienta a entrevistar personas que participen de una situación específica a investigar, en este caso el uso del suelo correspondiente a la subcuenca del Humedal del Río Cruces. La entrevista constó de 5 preguntas comunes a todos, más algunas preguntas específicas según la institución (ver entrevistas en ANEXO 1). Las entrevistas se efectuaron de manera presencial durante el mes de Diciembre del 2013 en la ciudad de Valdivia.

Tabla 1. Lista de instituciones que fueron consideradas para la entrevista, relacionadas al uso del suelo de la subcuenca del humedal del río Cruces. Cada una de ellas cuenta con un experto en el área que fue entrevistado y que por razones de confidencialidad se mantendrá anónimo.

Institución
Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP)
SEREMI Región de Los Ríos
Instituto Nacional Forestal (INFOR)
Servicio Agrícola Ganadero (SAG)
Corporación Regional de Desarrollo Productivo (CRDP)
Instituto de Investigación Agropecuarias (INIA)
Comisión Nacional Forestal (CONAF)

4. RESULTADOS

4.1 Cartografía Catastro de Vegetación CONAF

El análisis de coberturas de las cartografías proporcionadas por CONAF mostró que los usos de suelo predominantes en el área de estudio son, en orden decreciente, Matorral –Pradera, Plantaciones forestales y Renoval, de los cuales tanto Matorral-Pradera como Renoval han experimentado una disminución de su cobertura (5,9 y 1,4% respectivamente) entre los años 1996 y 2006, mientras que la cubierta de plantaciones forestales aumentó un 6,8% (Figura 2).

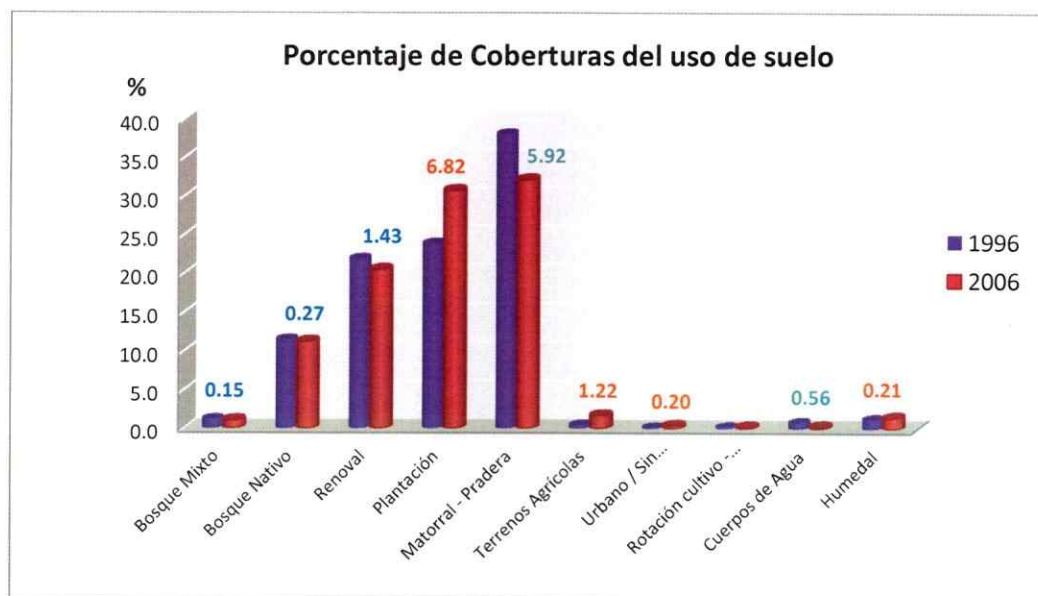


Figura 2. Gráfico de coberturas del uso de suelo para el área de estudio en los años 1996 y 2006. Los números sobre las columnas señalan el porcentaje de cambio, en azul se indica la disminución y en naranja el aumento.

De los usos del suelo de cada área en particular se aprecia la misma tendencia, pues en las cuatro zonas de estudio las plantaciones aumentan su cobertura mientras que el uso *Matorral-Pradera* disminuye, siendo en la mayoría de los casos los usos que sufren mayor porcentaje de cambio entre 1996 y 2006.

En particular la zona de Pichoy Agrícola destaca por ser la zona más intervenida, es la que posee mayor porcentaje de los usos *Terrenos Agrícolas* y *Urbano / Sin vegetación*, los cuales ambos experimentan un aumento en relación al año 1996. Además, es la única zona que posee la categoría de uso *Rotación cultivo-pradera*. En Pichoy Agrícola existe un claro predominio del uso *Matorral-Pradera* por sobre todos los demás, correspondiendo al 70% de la zona (Figura 3).

El sector de Pichoy Bosque, por el contrario, posee un dominio del sector forestal en el cual resalta la presencia del uso *Plantaciones* con un 40% de cobertura en el año 96 que aumenta a casi el 50% en el 2006. Sin embargo los otros usos forestales *Renovales* y *Bosque Nativo* experimentan una disminución de su superficie, al igual que lo hace *Matorral-Pradera* con una baja del 9,6% de su cobertura siendo el cambio de mayor importancia para el sector (Figura 4). Otro cambio a mencionar es el aumento de los terrenos agrícolas, ya que en esta área es donde dicho uso sufre la mayor expansión.

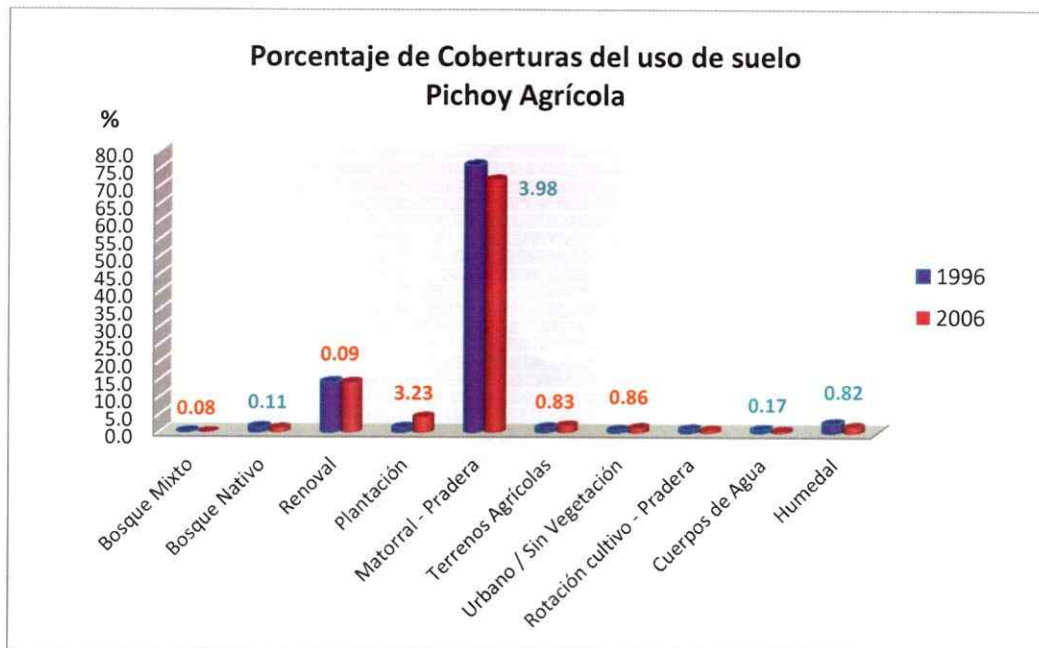


Figura 3. Gráfico de coberturas del uso de suelo para el área de Pichoy Agrícola en los años 1996 y 2006. Los números sobre las columnas señalan el porcentaje de cambio, en azul se indica la disminución y en naranja el aumento.

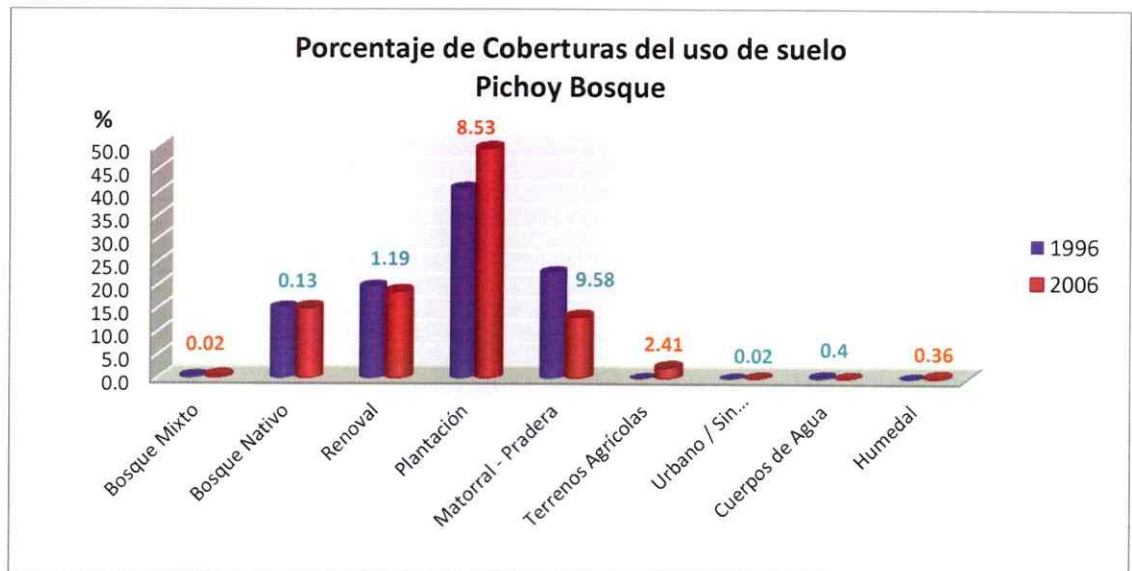


Figura 4. Gráfico de coberturas del uso de suelo para el área de Pichoy Bosque en los años 1996 y 2006. Los números sobre las columnas señalan el porcentaje de cambio, en azul se indica la disminución y en naranja el aumento.

La zona de Cayumapu, ubicada en la parte sur del área de estudio, es la que posee mayor superficie de Bosque mixto en relación a las otras zonas. En este sector casi el total de los usos sufre una disminución de su cobertura en el año 2006 respecto al año 1996, siendo las plantaciones y el humedal la excepción cuyo ascenso en su cobertura corresponde al 7,6 y 1,4% respectivamente (Figura 5).

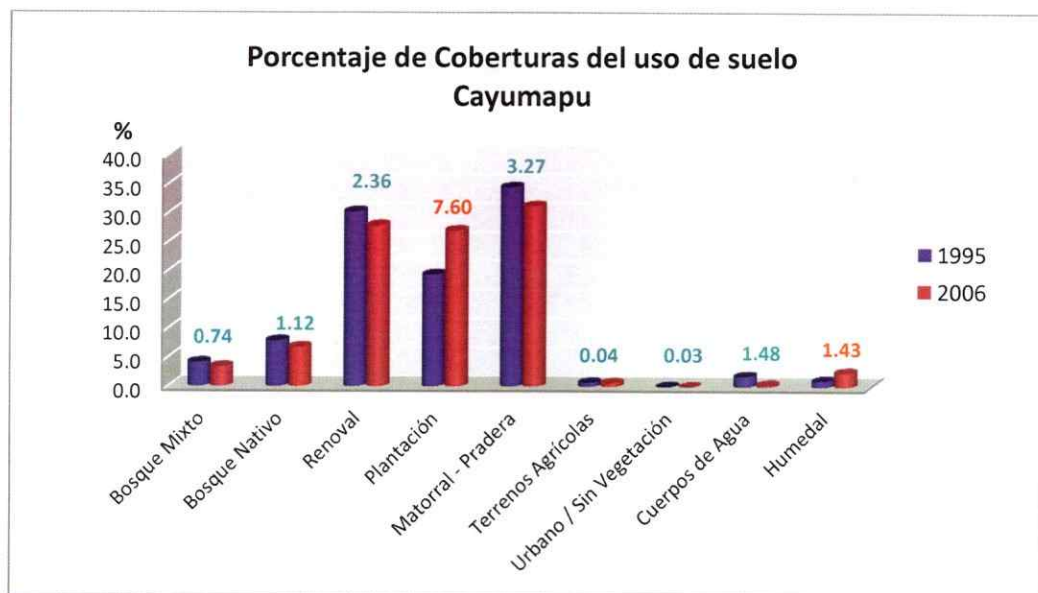


Figura 5. Gráfico de coberturas del uso de suelo para el área de Cayumapu en los años 1996 y 2006. Los números sobre las columnas señalan el porcentaje de cambio, en azul se indica la disminución y en naranja el aumento.

Por último, la zona de Oncol al contrario de Pichoy Agrícola es la que posee menor intervención, pues en ella no se presentan usos como *Terrenos Agrícolas*, *Urbano / Sin Vegetación*, *Rotación cultivo – Pradera* ni *Bosque Mixto*. Asimismo es la zona en la que el Bosque Nativo se encuentra en mayor extensión (cercano al 30%) el cuál además presenta un aumento únicamente en esta zona para el año 2006. Sin embargo, nuevamente el uso *Plantación* aumenta de un 19% a un 26% en los diez años, siendo el cambio más significativo junto con la reducción del 4,8% de la superficie de renovales (Figura 6).

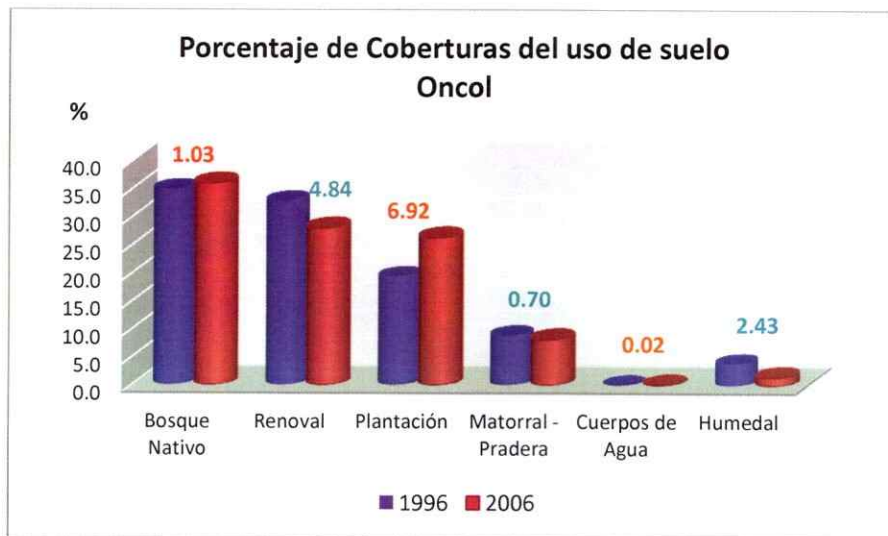


Figura 6. Gráfico de coberturas del uso de suelo para el área de Oncol en los años 1996 y 2006. Los números sobre las columnas señalan el porcentaje de cambio, en azul se indica la disminución y en naranja el aumento.

Los resultados gráficos de las distintas coberturas de los usos de suelos para cada una de las zonas de la sub cuenca del Humedal Río Cruces en los años 1996 y 2006 pueden verse en Anexo 2.

4.2 Análisis de variación del índice de NDVI

A partir de los datos proporcionados por las imágenes satelitales se realizó el cálculo del índice normalizado de vegetación (NDVI) para distintos meses del año comprendidos en el periodo 1998 - 2005 (Tabla 2). Los menores valores del índice se presentaron en el mes de Agosto del 2004 y los mayores en Noviembre del 2001, lo que coincide con la estacionalidad ya que en invierno el vigor de la vegetación es menor que en las otras estaciones. El análisis de los datos mostró una tendencia hacia la disminución del NDVI a partir de Noviembre del 2001; período que a excepción de Oncol, presenta los mayores valores registrados, sin embargo para esa zona es el segundo mayor valor junto con Enero del 99' y

Febrero del 2003 donde el valor de NDVI se repite (NDVI = 0.84). Por ello el análisis de las tendencias temporales se realizó para cada zona previo y posterior a Noviembre del 2001.

Tabla 2. Valores de NDVI promedio para la imagen de las cuatro zonas de interés en las distintas fechas disponibles. En rojo se resalta la fecha con mayor valor del índice. *corresponden a las imágenes descartadas debido a la alta nubosidad.

Fecha	P.Agrícola	P.Bosque	Cayumapu	Oncol
1998-Feb	0.53	0.78	0.69	0.79
1998-Abr	0.57	0.75	0.69	0.78
1998-Dic	0.57	*	0.66	0.8
1999-Ene	0.57	*	0.69	0.84
1999-Oct	0.73	0.78	0.76	0.81
1999-Dic	0.66	0.73	0.7	0.78
2000-Ene	0.51	0.79	0.7	*
2000-Mar	0.74	*	0.81	0.87
2000-Sep	*	*	0.76	0.84
2000-Oct	0.73	0.81	0.77	0.81
2001-Feb	0.61	*	0.71	0.82
2001-Abr	*	*	0.62	0.68
2001-Oct	0.69	0.71	0.74	0.8
2001-Nov	0.8	0.86	0.82	0.84
2002-Ene	0.44	*	0.66	0.8
2002-Feb	0.4	0.74	0.64	0.78
2003-Feb	0.64	0.82	0.77	0.84
2003-Oct	0.56	0.61	0.57	*
2004-Ene	0.61	*	0.68	0.74
2004-Mar	0.45	0.65	0.59	0.66
2004-Mayo	0.48	0.55	0.54	0.54
2004-Ago	*	0.32	0.3	0.32
2004-Dic	*	*	*	*
2005-Feb	0.42	0.62	0.56	0.64
Total	20	15	23	21

En las Figuras 7 a 14 se presenta la evolución temporal del valor promedio de NDVI para cada una de las zonas descritas. Al compararlas entre ellas se observa que la zona correspondiente a Pichoy Agrícola es la que presenta las mayores oscilaciones del valor de NDVI, así como también los valores más bajos (Figuras 7 y 8), mientras que los valores más altos se encontraron en las zonas de Pichoy Bosque y Oncol.

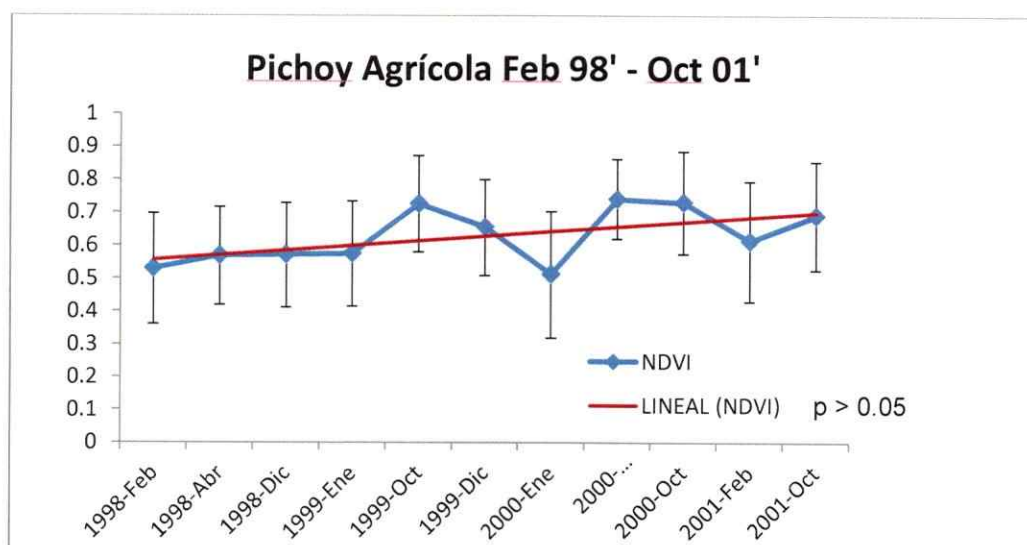


Figura 7. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Pichoy Agrícola en el periodo comprendido entre Febrero de 1998 y Octubre del 2001.

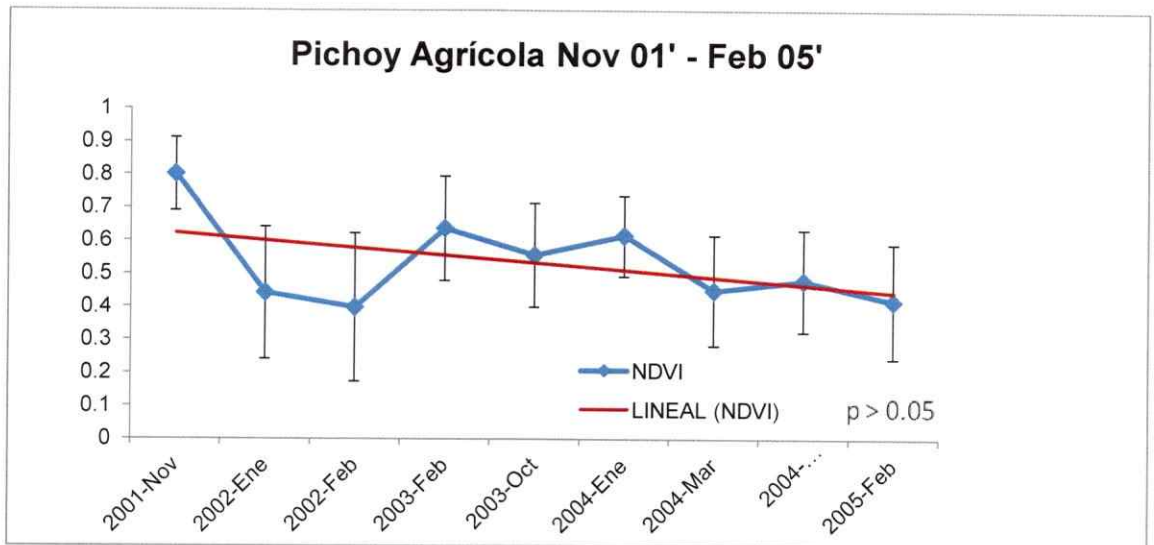


Figura 8. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Pichoy Agrícola en el periodo comprendido entre Noviembre del 2001 y Febrero del 2005.

Por otro lado, las Figuras 9, 11 y 13 muestran que el valor del NDVI se mantiene más bien constante en cada una de las zonas restantes, Pichoy Bosque, Cayumapu y Oncol, durante el periodo comprendido entre Febrero de 1998 y Octubre del 2001. No así en las fechas posteriores a Noviembre del 2001 en donde por el contrario, las áreas antes mencionadas presentan una tendencia significativa a la disminución (Figuras 10, 12 y 14; $p < 0.05$; Pichoy bosque, $p=0.036$; Cayumapu, $p=0.038$; Oncol, $p=0.028$).

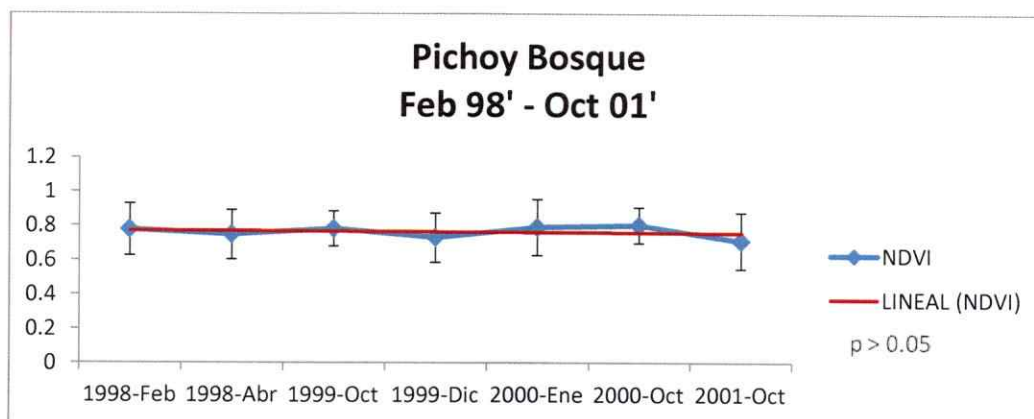


Figura 9. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Pichoy Bosque en el periodo comprendido entre Febrero de 1998 y Octubre del 2001.

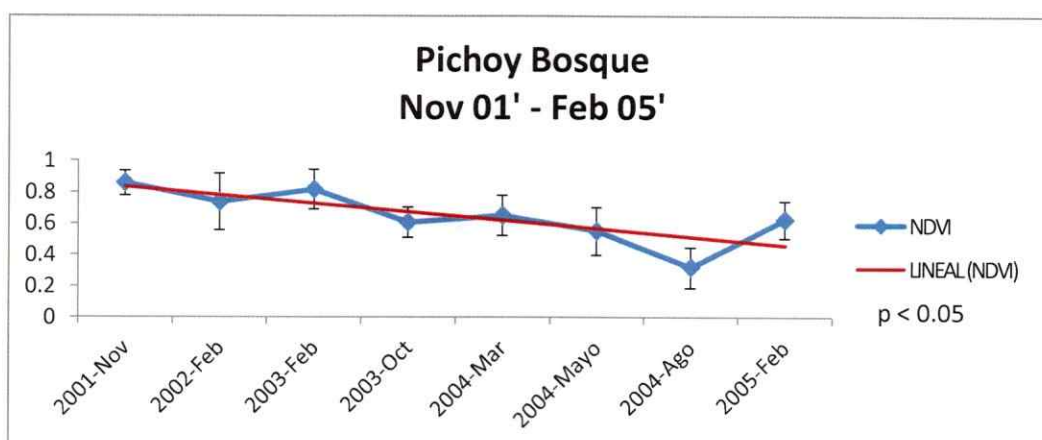


Figura 10. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Pichoy Bosque en el periodo comprendido entre Noviembre del 2001 y Febrero del 2005

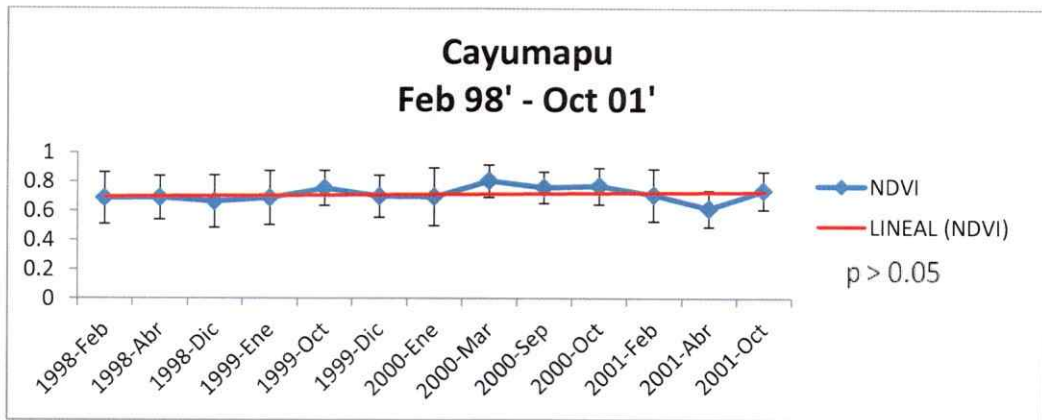


Figura 11. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Cayumapu en el periodo comprendido entre Febrero de 1998 y Octubre del 2001.

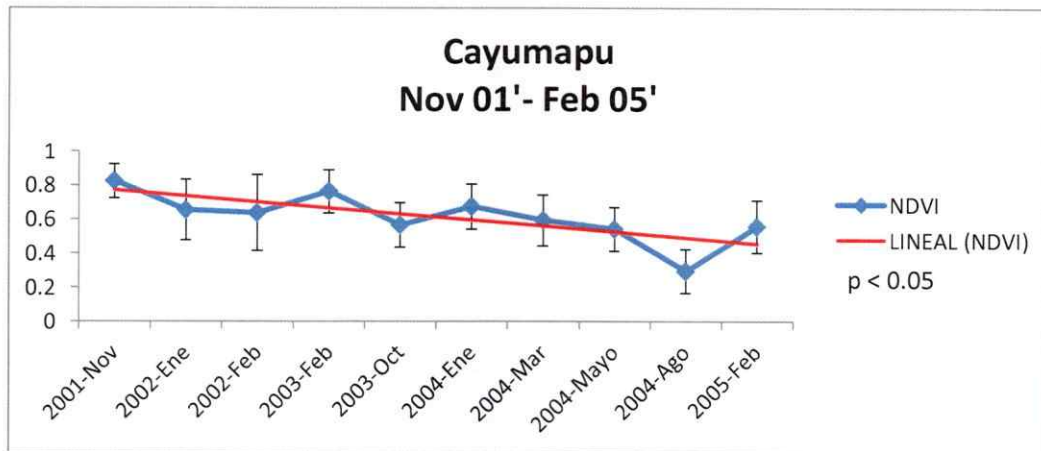


Figura 12. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Cayumapu en el periodo comprendido entre Noviembre del 2001 y Febrero del 2005.

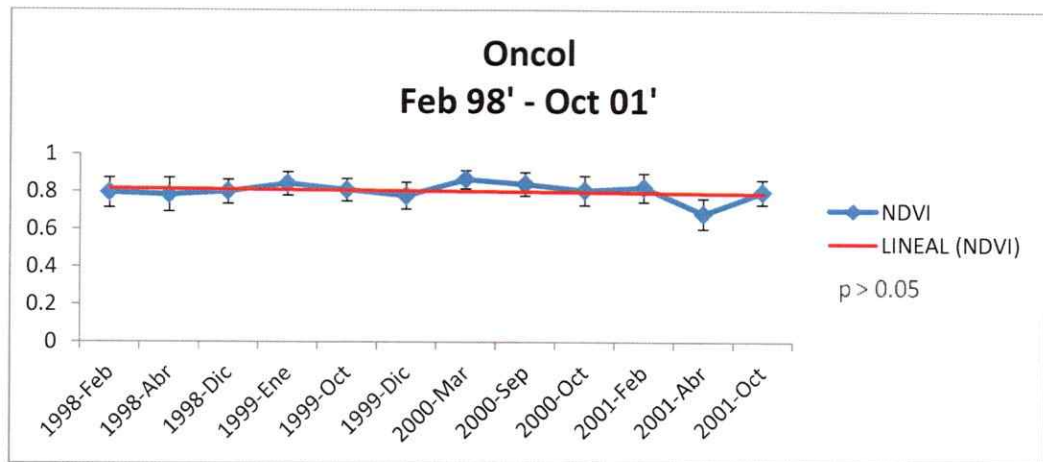


Figura 13. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Oncol en el periodo comprendido entre Febrero de 1998 y Octubre del 2001.

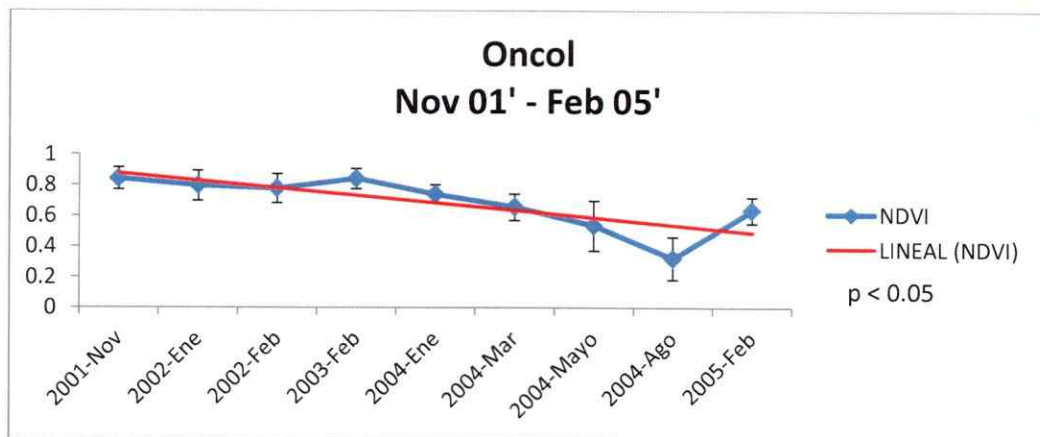


Figura 14. Tendencia del valor promedio de NDVI para la zona Oncol en el periodo comprendido entre Noviembre del 2001 y Febrero del 2005.

Aquello que predomina en las zonas Pichoy Bosque, Cayumapu y Oncol es la presencia de bosque, por lo que se puede deducir que desde finales del 2001 la biomasa forestal que rodea el área de estudio se redujo.

4.3 Entrevistas

Ante la pregunta ¿Ha observado algún tipo de cambio en la cuenca? (cambio en su estructura, composición) se obtuvo un total de cinco respuestas afirmativas contra dos respuestas negativas (Figura 15). Sin embargo ambas respuestas “No” no fueron determinantes, sino mas bien “no mucho” o “no se han observado cambios relevantes”.

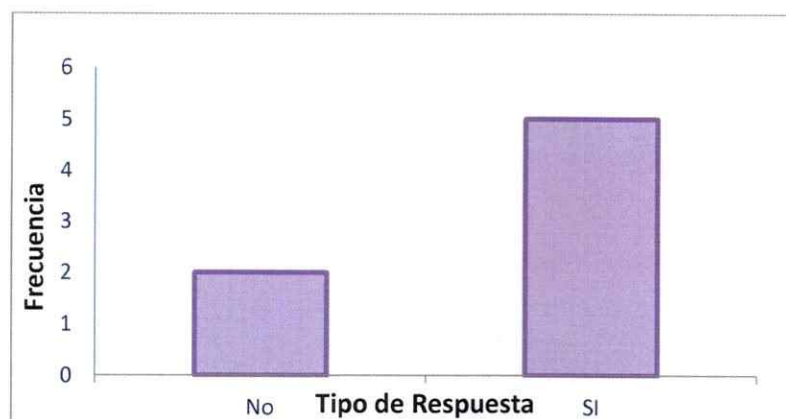


Figura 15. Muestra las respuesta de los entrevistados a la pregunta ¿Ha observado algún tipo de cambio en la cuenca?

Respecto a las respuestas de los entrevistados que si han percibido cambios, en un 50% (4 menciones) se hace alusión a los cambios ocurridos en la vegetación, dentro de las cuales tres personas especifican el aumento de las plantaciones. Las aves se mencionan en un 37% (3 personas) como tipo de cambio observado y por último los cambios ocurridos en el humedal se mencionan en un 13% (Figura 16).



Figura 16. Alusiones de los entrevistados al tipo de cambio observado. El total de menciones corresponde al cien por ciento.

Frente a la segunda pregunta, ¿Qué actividad es la que prima en la zona, agrícola, forestal o silvícola? Casi la totalidad (6 personas) responden ambas, agrícola y forestal, mientras que una persona se inclina únicamente por la actividad forestal (Figura 17).

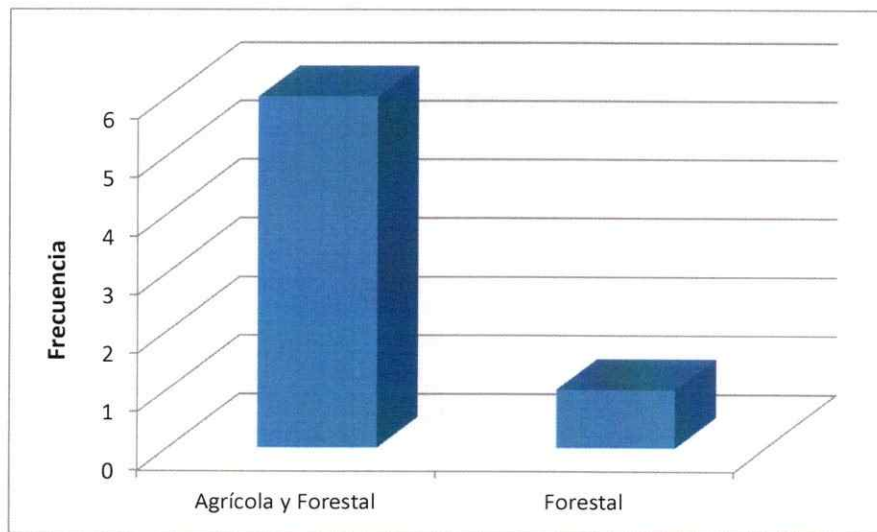


Figura 17. Respuesta de los entrevistados en relación al tipo de actividad que predomina en la zona.

Luego, de la Figura 18 se desprende que el 57% de los entrevistados considera que la actividad forestal es la que ocupa una mayor área en la subcuenca, mientras que el 43% considera que es la actividad agrícola.



Figura 18. Respuestas de los entrevistados en relación a la actividad que predomina en cuanto a su superficie.

De los cambios observados destaca la expansión del sector forestal, obteniendo aportes de diversas actividades, pues 4 personas perciben cambios para el periodo de estudio desde el sector agrícola hacia el forestal y otras 3 personas lo hacen desde la ganadería. Por el contrario la actividad ganadera sería la única en retroceso al no observarse ni un cambio que la favorezca, sino por el contrario sólo se mencionan traspasos de terrenos ganaderos hacia el desarrollo de otro tipo de actividades (Figura 19).

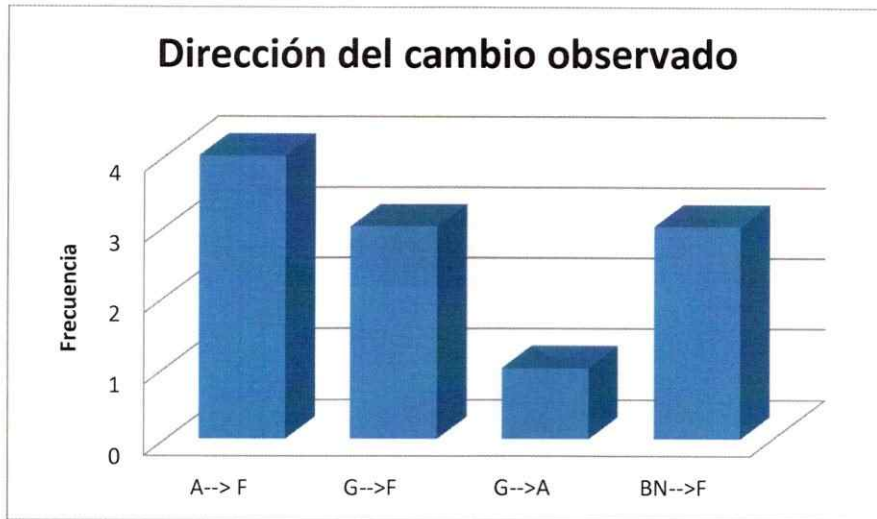


Figura 19. Tipos de cambios percibidos por los entrevistados. Los sectores mencionados corresponden a: Agrícola (A), Forestal (F) entendido como plantaciones exóticas, Ganadero (G) y bosque nativo (BN).

En relación al tipo de cultivos, los que primaban originalmente en la zona era la avena y el trigo, posteriormente a partir del año 2000 comenzó a haber una fuerte explosión del cultivo de Berries en desmedro de los anteriores (5 entrevistados perciben un cambio en el tipo de cultivo, Figura 21). Sin embargo, tanto la avena como los berries serían los cultivos que predominan en la zona, seguido de praderas y trigo (Figura 20).

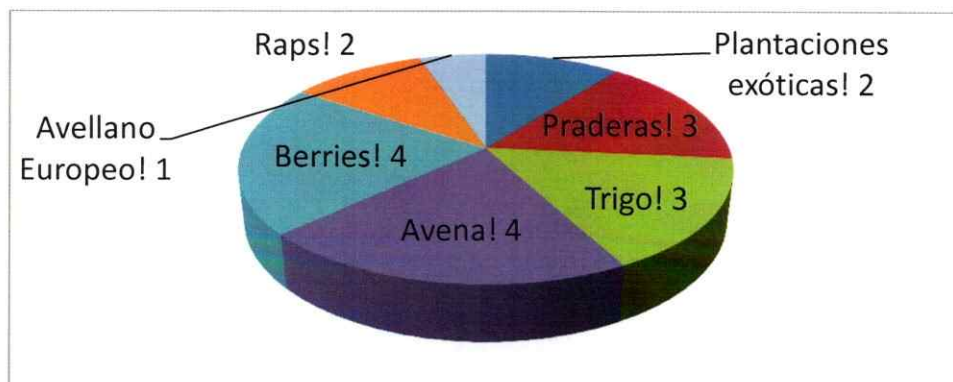


Figura 20. Número de menciones a los distintos cultivos que se desarrollan en el área de estudio.

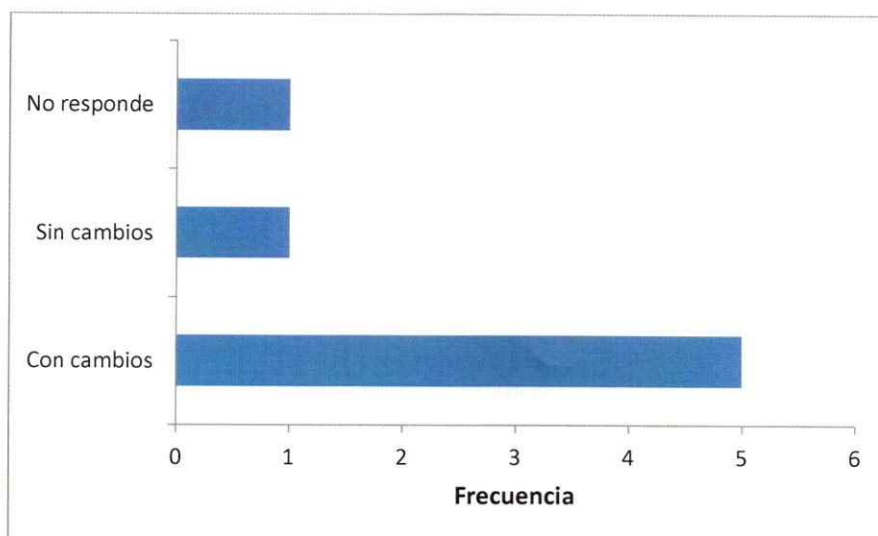


Figura 21. Respuesta de los entrevistados en torno a si los tipos de cultivos se han mantenido invariables en el tiempo

Finalmente, respecto al abandono de terrenos la totalidad de los entrevistados responde que no ha ocurrido, que no hay terrenos en desuso, pero si detectan modificaciones en su uso, mencionando nuevamente la venta de terrenos a las empresas forestales y la parcelación de terrenos con fines de agrado como principales motores de cambio.

Por último, en lo que concierne a las preguntas específicas por institución (detalladas en Anexo 1) se destaca lo siguiente:

Primero, respecto a planes, incentivos y programas, se ha implementado en la región el programa *Sistema de Incentivo a la Recuperación de Suelos Degradados (SIRSD)*, el cual surge el año 1995 pero se inicia formalmente el año 1999. Dicho programa cuenta con 6 subprogramas, de los cuales los más solicitados son fertilización fosfatada y Conservación de suelos. No obstante cabe mencionar que éste último se aleja del verdadero sentido de conservación y se relaciona mayormente con el uso eficiente de la pradera y la bonificación para la construcción

de cercos. Los entrevistados comentan que el desarrollo del programa se ha llevado a cabo más bien con un enfoque productivo, dominando en la zona de Máfil y manteniendo constante el número de solicitudes.

De los incentivos existentes se menciona la creación del Decreto de Ley 701 en el año 1974, el cual estipula el subsidio del 75% por parte del Estado de los costos de las plantaciones en aquellos terrenos que hayan sido calificados por CONAF como de aptitud preferentemente forestal (APF). Por ello, a través del DL 701 se ha potenciado la forestación, la cual se ha llevado a cabo básicamente con plantaciones exóticas de rápido crecimiento. Asociado a la bonificación por parte del DL 701 se encuentra el crédito de enlace forestal liderado por INDAP. Éste alcanzó el máximo de solicitudes en el período 2000-2005.

Respecto a la existencia de algún plan de forestación de suelos degradados los entrevistados consultados no manejan la información.

-Segundo, de las solicitudes de cambio de uso de suelo, la mayoría se concentra en los alrededores de la carretera, cuyo mayor cambio ha sido producto de las empresas que prestan servicios a la Celulosa Arauco y Constitución S. A., así como por la compra directa de predios por parte de las forestales.

-Tercero, los fertilizantes más utilizados en la zona son el superfosfato triple y en menor proporción la Urea. Ambos han mantenido en el tiempo su identidad, cantidad y frecuencia de uso.

5. DISCUSIÓN

Los cambios de uso de suelo han cobrado gran importancia en las últimas décadas debido principalmente a su relación con el cambio global. Entre sus probables consecuencias se consideran diversas alteraciones a los sistemas ambientales, asociadas mayoritariamente a transformaciones en los ciclos y procesos naturales, los cuales surgen de una inadecuada interacción entre el hombre y el medio ambiente (Lambin y col. 1999).

Desde hace años que se vienen reportando cambios de usos del suelo en la zona centro-sur de Chile, lo que ha llevado a una serie de transformaciones en el paisaje. El más documentado se relaciona al aumento de plantaciones forestales en desmedro del bosque nativo (Aguayo y col., 2009; Echeverría y col., 2006; Verardi, 2013). La información disponible para la Región de los Ríos (CONAF, 2008) muestra que, en el período 1998-2006, cerca de 20.100 ha de superficies plantadas con especies exóticas correspondían 10 años atrás a bosques nativos. No obstante, para la sub-cuenca del Humedal del Río Cruces, los resultados de este estudio muestran una extensión de la superficie cubierta por plantaciones forestales a costa de la disminución de la cubierta de matorral-pradera. Esta tendencia se manifiesta en cada una de las sub áreas (Fig. 2). Dicha tendencia se presenta también a nivel regional, donde el uso del suelo de mayor aumento en términos de superficie es el de las plantaciones forestales (63.459,9 ha), mientras que la mayor pérdida se produce en praderas y matorrales con una disminución de 45.223,6 ha (CONAF, 2008). El mismo patrón es percibido por los entrevistados, cuyas respuestas respecto a la dirección del cambio se orientan principalmente al traspaso de áreas desde el sector agrícola y ganadero hacia el sector forestal (Figura 16).

Este cambio en el uso del suelo estaría produciendo una modificación en la distribución espacial y temporal del contenido de agua del mismo, modificando así el balance hídrico del área. Diversos estudios señalan que, comparado con las praderas o matorrales, las plantaciones forestales de especies exóticas reducen la disponibilidad de agua, principalmente a causa de las pérdidas provocadas por intercepción del dosel, las cuales inciden en una menor cantidad del agua percolada (Huber & trecaman, 2000; Huber, 2003; Farley, 2005; Huber y col., 2008).

El Índice NDVI es un buen indicador del verdor de la vegetación, el cual mantiene estrecha relación con la disponibilidad del agua. Al observar las tendencias del NDVI resalta su significativa disminución en las tres áreas sometidas a explotación forestal (Pichoy Bosque, Cayumapu y Oncol; Figuras 10, 12 y 14), lo que podría explicarse por el acentuado establecimiento de las plantaciones forestales. El valor del índice comienza a disminuir a finales del año 2001, año en que el D.L. 701 flexibiliza su reglamento y por ende facilita el acceso a la forestación (Agraria, 2005). A su vez entre el año 1998 y 2004 se produce un importante y sostenido aumento en el número de bonos, con especial crecimiento en los últimos dos años, debido a las modificaciones introducidas a los reglamentos que regulan la implementación de la ley introducidos en el año 2001. De esta forma, el aumento de las plantaciones con la consiguiente reducción en el agua disponible esclarece la disminución del valor de NDVI, ya que no se estarían cumpliendo los requisitos hídricos lo que provoca estrés y una baja en la calidad de la vegetación (Horwitz y col., 2009). Por otro lado, la construcción de caminos, el uso de fuego para preparar los sitios y la cosecha a tala rasa son algunas de las actividades relacionadas al desarrollo forestal del país (Iroumé, 1992), situaciones todas, que pueden contribuir a la disminución del valor del índice.

En cuanto a la zona de Pichoy Agrícola, ésta no presenta tendencia temporal respecto a los valores de NDVI, lo cual es concordante con la baja presencia de plantaciones forestales y la dominancia de matorral-pradera, ya que por lo general, los sectores cultivados tienden hacia el mantenimiento de su biomasa vegetal, por ser espacios estables sometidos a un fuerte control antrópico (Serrano y col., 2003). En relación a este punto, es importante mencionar que al pastoreo se le reconoce como una actividad con alto potencial contaminante, debido principalmente a la carga de nutrientes transferidos al medio ambiente producto del uso intensivo de fertilizantes (Alfaro & Salazar, 2005). Para la zona estudiada resalta el uso de fertilizantes fosfatados (e.g. superfosfato triple) los cuales han sido impulsados por el programa de *Sistema de Incentivo a la Recuperación de Suelos Degradados (SIRSD)*, iniciado formalmente el año 1999 a cargo del SAG e INDAP. Adicionalmente, terrenos fuertemente pastoreados debido al constante pisoteo sufren una disminución en la cobertura de la pradera, lo que podría provocar un aumento en la producción de sedimentos (Alfaro & Salazar, 2005; Torres, 2012). Al respecto, Marin et al. (2014) encuentra en sus estudios del Humedal del Río Cruces una relación lineal entre la concentración de sólidos en suspensión y la de los macronutrientes, fósforo y nitrógeno.

Entre los procesos que contribuyen a la pérdida y degradación de los humedales se encuentran el cambio de uso de suelo, la alteración del régimen hidrológico y el aumento de nutrientes entre otros (Horwitz y col., 2009; MEA, 2005.). Todos ellos, de una u otra manera, se presentan en la subcuenca del Humedal del Río Cruces, lo que permite proponer que las actividades allí desarrolladas pudieron haber gatillado el cambio de estado del ecosistema del Humedal del Río Cruces en el año 2004.

Los suelos de la sub-cuenca son del tipo "Trumaos", lo que en vocablo indígena significa suelo semejante a cenizas. Son éstas su origen y las que le confieren una gran susceptibilidad a la meteorización, debido a que los materiales que lo componen se encuentran altamente fragmentados (IREN, 1978). Por lo mismo, se trata de suelos que ante un uso intensivo tienden a perder estabilidad (Ellies, 1995; Peña, 1985), lo que implica que un incremento en su uso en zonas aledañas al humedal aumentaría el transporte de sedimentos hacia el mismo.

De acuerdo a los procedimientos silvícolas practicados en Chile, resulta factible considerar a las plantaciones forestales como una potencial fuente de sedimento, ya que dentro de las prácticas de manejo se incluye la tala rasa. Esta va acompañada de la construcción de caminos que genera pérdidas de suelo y aumentan la carga de sedimentos en los cursos de agua (Huber & Iroume, 2001). Estudios realizados por Iroumé (1992) muestran que las pérdidas de suelo pueden alterar la concentración de sedimentos en suspensión en los cauces de agua hasta 8 a 10 meses después de la preparación de los sitios.

Debido a estas prácticas, que atentan contra la conservación de suelos y la protección de cursos de agua, la agrupación de ingenieros forestales por el bosque nativo (AIFBN) realiza periódicamente actividades de monitoreo forestal para detectar la eventual ocurrencia de prácticas inadecuadas o ilegales. Sólo en el 2008 la AIFBN detectó más de 20 casos de cortas ilegales en las regiones de Los Ríos y Los Lagos, que han sido verificadas por fiscalizadores de CONAF y que hoy se encuentran siguiendo curso en las Fiscalías y Juzgados de Policía Local. Entre ellas destacan: a) un considerable daño al suelo producto de cortas en zonas con fuertes pendientes, b) degradación y/o eliminación de vegetación de áreas de protección de cursos de agua y c) degradación de bosque y cabeceras de microcuencas por la construcción de caminos (AIFBN, 2012). Estas han sido

desarrolladas específicamente en las comunas de Valdivia, Mariquina y Lanco, que integran el área de estudio de este seminario de título.

En resumen, la información respecto de la sub-cuenca de un humedal resulta de gran importancia, ya que los diversos usos de la tierra regulan las funciones de estos, así como su bienes y servicios (Behera y col., 2012). Para el caso del Humedal del Río Cruces, la transición de un estado de aguas claras a uno de aguas turbias podría, en parte, explicarse por el arrastre de sedimentos a los cursos de agua asociados tanto a la actividad forestal como ganadera, ambas establecidas fuertemente en la zona (Delgado y col., manuscrito).

Dichas actividades productivas serían la perturbación asociada al cambio de estado, cuya variable de cambio corresponde a la concentración de sólidos en suspensión, la cual se considera como una de las principales variables controladoras de la calidad del agua y la productividad biológica de los humedales (Jones y col., 2012; Bilotta & Brazzier, 2008). Al aumentar la carga de sedimentos hacia el humedal, debido a las diversas prácticas forestales anteriormente discutidas habría aumentado también la concentración de los sólidos en suspensión (Delgado y col., manuscrito), los cuales al sobrepasar cierto umbral impedirían la fotosíntesis necesaria para el desarrollo de *E.densa* lo que junto con las bajas precipitaciones registradas durante Mayo del 2004 (Marín y col., 2009), habrían gatillado la muerte de la macrófita con la subsecuente emigración de los cisnes de cuello negro, al haber disminuido su alimento, y por ende propiciar el nuevo estado de "aguas turbias".

Finalmente, no se puede dejar de mencionar la Planta de Celulosa de San José de la Mariquina, pues diversos autores la señalan como la responsable del cambio de estado que sufrió el humedal 10 años atrás (Lopetegui y col., 2007; Lagos y col.,

2008). Según lo expuesto en este trabajo, su efecto puede ser al menos indirecto. Ello a causa de que las plantaciones forestales del sector se utilizan principalmente para el abastecimiento de materia prima de la industria de celulosa representada por la Planta Valdivia, del grupo Arauco. Por último, la importancia de este estudio recae en el planteamiento de una nueva perspectiva respecto del cambio de estado del humedal el 2004, cuya identificación resulta necesaria para la formulación de futuros planes de manejo y conservación del Humedal Río Cruces, en los que se desarrollen sistemas de gestión que sean compatibles con los requerimientos ambientales.

6. CONCLUSIÓN

La sub-cuenca del Humedal del Río Cruces sufrió cambios en el uso del suelo en el periodo 1998 a 2005, cuyo principal origen es el fuerte desarrollo del sector forestal, expresado en un considerable aumento de las plantaciones de especies exóticas en todos los sectores a expensas del detrimento del sector ganadero. Ésta situación podría ser la razón de la significativa disminución de los valores del NDVI en aquellos sectores donde la explotación forestal se encuentra mayormente establecida, como es el caso de Pichoy Bosque, Cayumapu y Oncol. En éste sentido, el análisis temporal del índice NDVI además de proporcionar información acerca de la disminución de la biomasa vegetal en los sectores antes mencionados, contribuye al establecimiento de una fecha para dicho proceso (Noviembre del 2001), periodo inmerso en el máximo de solicitudes del Crédito de enlace forestal otorgados por INDAP.

La información proporcionada por los entrevistados respalda los resultados obtenidos a partir del análisis de coberturas de uso de suelo de CONAF, en cuanto al tipo y dirección de cambios observados en la cuenca, como en la actividad que prima en la zona. Ambos resultados arrojan información importante para desentrañar los datos proporcionados por el índice NDVI.

A partir de los resultados obtenidos en el presente seminario de título se propone que la intensificación de la tala rasa en plantaciones forestales, en el periodo 2003/2004, habría aumentado la erosión del suelo y con ello el transporte de sólidos en suspensión al humedal, contribuyendo a la mortalidad de la macrófita *E. densa*. Futuras investigaciones deberían focalizarse en estudios conducentes a verificar en forma experimental el componente del cambio de uso del suelo que podría ser el responsable del cambio de estado sufrido por el humedal.

7. BIBLIOGRAFÍA

Agraria. 2005. Informe final Evaluación de Impacto Programa Bonificación Forestal D.L. 701. Ministerio de Agricultura, CONAF. Santiago, Chile. 226 pp.

Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo (AIFBN). 2012. Informe de Resultados. Monitoreo Forestal Independiente a patrimonio de ANCHILE Ltda. En la Región de Los Ríos y Los Lagos 55 pp.

Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo (AIFBN). 2011. Informe Nacional. Monitoreo Forestal Independiente en Cuencas Hidrográficas abastecedoras de Agua de la XIV Región de Los Ríos 23 pp

Aguayo, M., A. Pauchard, G. Azócar y O. Parra. 2009. Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia natural* 82: 361 - 374.

Alfaro, M. y Salazar, F. 2005. Ganadería y contaminación difusa, implicancias para el sur de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 65 (3): 330-340.

Behera, M.D., Chitale, V.S., Shaw, A., Roy, P.S., Murthy, M.S.R., 2012, Wetland Monitoring, Serving as an Index of Land Use Change-A Study in Samaspur Wetlands, Uttar Pradesh, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 40 (2): 287-297.

Bilotta, S. A. y Brazier R. E. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and biota. *Water Research* 42: 2849 - 2861.

Brinson M. M. Y Eckles S. D. 2011. U.S. Department of Agriculture conservation program and practice effects on wetland ecosystem services: a synthesis. *Ecological Applications* 21:116–127.

CIREN. 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Región de Los Ríos. Síntesis de resultados. 50 pp. [En línea: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/gsdlexterna/collect/bdirenci/index/assoc/HASH01e7.dir/PC15010.pdf>]

Chuvieco, E. 2002. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Edit. Ariel Ciencia. España.

CONAF. 2011. Catastro de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Monitoreo de cambios y actualizaciones periodo 1997 – 2011. 28 pp.

CONAF. 2008. Catastro de uso de suelo y vegetación. Monitoreo y actualización región de Los Ríos periodo 1998 – 2006. 19 pp.

- CONAF-CONAMA. 1999. Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Proyecto CONAF-CONAMA-BIRF. 89pp.
- CONAMA-CEA. 2006. Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica. Santiago. 114 pp.
- Coper S.A. , Rovira A.S., Ulloa P.R., Azurmendi H.P. 2005. Escenarios exploratorios Valdivia 2020. Universidad Austral de Chile, Ministerio de Planificación y Cooperación, Gobierno de Chile. 159 pp.
- Correa-Araneda, F., Urrutia, J., Figueroa, R. 2011. Estado del conocimiento y principales amenazas de los humedales boscosos de agua dulce de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 325-340.
- Davis, J.A. & Froend, R. 1999. Loss and degradation of wetlands in southwestern Australia: Underlying causes, consequences and solutions. *Wetlands Ecology and Management* 7(1): 13-23.
- De la Maza M, Lima M, Meserve P.L., Gutierrez J.R., Jaksic F.M. 2009. Primary production dynamics and climate variability: ecological consequences in semiarid Chile. *Global Change Biology* 15: 1116–1126.
- De Steven, D., and R. Lowrance. 2011. Agricultural conservation practices and wetland ecosystem services in the wetland rich Piedmont–Coastal Plain region. *Ecological Applications* 21(Supplement):S3–S17.
- Delgado, L. E., Tironi, A., Vila, I., Verardi, G., Ibañez, C., Agüero, B. y Marín V. H. (Manuscrito enviado). El Humedal del Río Cruces, Valdivia, Chile: una síntesis ecosistémica. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*
- Di Marzio, W. y McInnes, R. 2005. Misión consultiva Ramsar: Chile (2005). Informe de misión Santuario Carlos Anwandter (Río Cruces), Chile. [En línea: http://ecosistemas.uchile.cl/fCruces/documentos/teoria/files/informe_RAMSAR.pdf].
- Dirección General de Aguas (DGA). 2004. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad, Cuenca del Río Valdivia. 129 pp. [En Línea: http://www.sinia.cl/1292/articles-31018_Valdivia.pdf].
- Echeverría, C., Coomes D., Salas J., Rey Benayas J., Lara A., Newton A. 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forests. *Biological Conservation* 130: 481-494.
- Ellies, A. 1995. Efecto del manejo sobre las propiedades físicas de suelos trumaos y rojo arcillosos. *Bosque* 16:101-110.
- Erlandsson M., Ishi B., Jens F., Hjalmar L., Johan T., gesa A. W. y Kevin B. 2008. Thirty-five years of synchrony in the organic matter concentrations of swedish rivers explained by variation in flow and sulphate. *Global Change Biology* 14: 1191–1198.

- Farley K, Jobbágy E., Jackson R. 2005. Effect of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology* 11: 1565-1576.
- Frêne C. 2010. Efecto inmediato de la práctica silvícola de tala rasa en plantaciones forestales de *Pinus radiata* sobre el caudal y transporte de sedimentos a escala de microcuenca, Cordillera de la Costa, Región del Bio Bio, Chile. Tesis para optar al grado de magister en ciencias, UACH. Valdivia, Chile. 83pp.
- Frêne C., y Núñez M. 2010. "Hacia un nuevo Modelo Forestal en Chile". *Bosque Nativo* 47: 25 – 35.
- Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile: Clasificación y distribución geográfica. Primera edición. Editorial Universitaria S. A. Santiago Chile.
- Glenn E.P., Huete A.R, Nagler P.L. y Nelson G.S. 2008. Relationship Between Remotely-sensed Vegetation Indices, Canopy Attributes and Plant Physiological Processes: What Vegetation Indices Can and Cannot Tell Us About the Landscape. *Sensors* 8: 2136-2160.
- Horwitz P., Sommer B. y Hewitt P. 2009. Wetlands: changes, losses and gains. Chapter 5 In Biodiversity values and threatening processes of the Gngangara groundwater system. Edited by B. Wilson and L.E. Valentine. Department of Environment and Conservation, Perth Western Australia
- Huber A., Iroumé A., Bathurst J. 2008. Effect of *Pinus radiata* plantation on water balance in Chile. *Hydrological Process* 22: 142-148.
- Huber A. 2003. Cambios en el balance hídrico provocados por la forestación con *pinus radiata* d. don en el secano interior del centro de Chile. *Gestión Ambiental* 9: 57-66.
- 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.
- Huber A. y Iroumé A. 2001. Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. *Journal of Hydrology* 248: 78–92.
- Huber A. y Trecaman R. 2000. El efecto de las características de una plantación de *Pinus radiata* en la distribución espacial del contenido de agua edáfica. *Bosque* 21(1): 37–44.
- Huang L.B., Bai J.H., Yan D.H., Chen B., Xiao R., y Gao H.F. 2012. Changes of wetland landscape patterns in Dadu River catchment from 1985 to 2000, China. *Front. Earth Sciences* 6: 237-249.
- IREN. 1978. Estudio de suelos de la provincia de Valdivia. Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales CORFO - Universidad Austral de Valdivia, 186 pp.

- Iroumé A. 1992. Precipitación, escorrentía y producción de sedimentos en suspensión en una cuenca cercana a Valdivia, Chile. *Bosque* 13(2): 15-23.
- Isaac-Márquez R., De Jong B., Ochoa-Gaona S., Hernández S., y Kantún D. 2005. Estrategias productivas campesinas: un análisis de los factores condicionantes del uso del suelo en el oriente de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 21 (42): 56-72.
- Jones, J. I., Collins A. L., Naden P. S., y Sear D. A. 2012. The relationship between fine sediment and macrophytes in rivers. *River res. Applic.* 28: 1006 - 1018.
- Kritzberg, E. S. y Ekström, S. M. 2012. Increasing iron concentrations in surface waters – a factor behind brownification?. *Biogeosciences* 9: 1465-1478.
- Lagos, N. A., Paolini P., Jaramillo E., Lovengreen C., Duarte C. y Contreras H. 2008. Environmental processes, water quality degradation, and decline of waterbird populations in the Rio cruces wetland, Chile. *Wetlands* 28:938-950.
- Lambin E.F., Baulies N., Bockstael G., Fisher T., Krug R., Lemmans E. F., Moran R. R., Rindfuss Y., Sato D., Skole B. L., Turner II y Vogel C. 1999. Land use and land cover change implementation strategy, IGBP report, 48, IHDP, report 10, Estocolmo.
- Little C., Lara A., McPhee J., y Urritia R. 2009. Revealing the impact of forest exotic plantations on wáter yield in large scale watersheds in South-Central Chile. *Journal of Hidrology* 374: 162-170.
- Lopetegui, E. J., Vollmann R. S., Cifuentes H. C., Valenzuela C. D., Suarez N. L., Herbach E. P., Huepe J. U., Jaramillo G. V., Leischner B. P., y Riveros R. S. 2007. Emigration and mortality of black-necked swans (*Cygnus melancoryphus*) and disappearance of the macrophyte *Egeria densa* in a Ramsar wetland site of Southern Chile. *Ambio* 37:607-609.
- Marín, V. H., Delgado L. E., Vila I., Tironi A., Barrera V., y Ibañez C. 2014. Regime shifts of Cruces River wetland ecosystem: current conditions, future uncertainties. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 42: 160-171.
- Marín V., Tironi A., Delgado L., Contreras M., Novoa F., Torres-Gómez M., Garreaud R., Vila I., y 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: 1752 – 1763.
- Marín V.H., Delgado, L.E. 2008. Elaboración de un modelo conceptual del ecosistema del humedal de río Cruces. Segundo Informe de Avance. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. En línea: <http://ecosistemas.uchile.cl/cruces/documentos/modelo/files/Informe2.pdf>.
- Marín V, L Delgado & I Vila. 2006. Sistemas acuáticos, ecosistemas y cuencas hidrográficas. En: I. Vila, A Veloso, R Schlatter & C Ramírez (eds.). *Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.

- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. "Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis" Washington, D.C.: World Resources Institute. 80 pp. [En línea: <http://www.maweb.org/documents/document.356.aspx.pdf>]
- Muñoz-Pedrerros A. 2004. Los humedales del Río Cruces y la convención de Ramsar. Un intento de protección fallido. *Gestión Ambiental* 10: 11-26.
- Muñoz - Pedrerros A. 2003. Guía de los Humedales del Río Cruces. CEA Ediciones. Valdivia. Chile. 143 pp.
- Nuñez R., Marín, S.L., Nahuelhual L. 2011. Uso del modelamiento en el análisis del cambio de uso de suelo: relevancia del registro y monitoreo de la información. *Revista de Bosque Nativo* 48: 3-8.
- O'Connell M. J. 2003. Detecting, measuring and reversing changes to wetlands. *Wetlands Ecology and Management* 11(6): 397-401.
- Paruelo J.M. 2008. La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas* 17(3):4-22.
- Peña M.L. 1985. Erosión hídrica en trumao de lamaje. En: Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile: Santiago.
- Peña-Cortés F., Bertrán C., Tapia J., Huenstein E., Cisternas M., Rebolledo G., Escalona-Ulloa M. 2009. Cambio de uso del suelo: el caso del borde costero de la Araucanía, sur de Chile: evolución y situación actual. A: International Conference Virtual City and Territory. "5th International Conference Virtual City and Territory, Barcelona, 2,3 and 4 June 2009". Barcelona: Centre de Política de Sòl i Valoracions, 2009, p. 517-524.
- RAMSAR. 2013. The Ramsar Convention on Wetlands. <http://www.ramsar.org/> (Visitado en Septiembre 2013)
- RAMSAR. 2006. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la convención sobre los humedales (Ramsar, Irán, 1971), cuarta edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.
- RAMSAR. 2012. Ficha informativa sobre los humedales de Ramsar (FIR) – Versión 2009-2012. Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, Valdivia, Chile. 27 pp. [En línea: http://www.conaf.cl/cms/editorweb/parques/ramsar/FichaSitioRamsar_SantuarioNaturalezaCarlosAnwandter_2012.pdf].
- RAMSAR. 1998. Ficha informativa de los humedales de Ramsar. Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, Valdivia, Chile. 19 pp. [En línea: http://sites.wetlands.org/reports/ris/6CL001SP_RIS_1998.pdf].
- Reinhardt, E. G., Nairn R. B., y Lopez G. 2010. Recovery estimates for the Río Cruces after the May 1960 earthquake. *Marine Geology* 269: 18 - 33.

- Scaramuzza P., Micijevic E., y Chander G. 2004. SLC Gap-Filled Products. Phase One Methodology. [En línea: http://landsat.usgs.gov/documents/SLC_Gap_Fill_Methodology.pdf].
- Scheffer M., Carpenter S., Foley J. A., Folke C., Walker B. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413: 591–596.
- Sepúlveda C., y Villarroel P. 2010. Desastre ecológico de Celco en el Santuario Río Cruces. En: Larraín S & Poo P. Conflictos por el Agua en Chile, Entre los Derechos Humanos y las Reglas del Mercado. Programa Chile sustentable.
- Serrano V.S.M., Lasanta T. y Romo, A. 2003. Diferencias espaciales en la evolución del NDVI en la cuenca alta del Aragón: efectos de los cambios de uso del suelo. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 29: 51-66.
- Setiawan Y., y Yoshino K. 2012. Change detection in land-use and land-cover dynamics at a regional scale from MODIS time-series imagery. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and the Spatial Information Sciences*, 1-7, pp. 243-248.
- Sierra Bravo R. 2003. Técnicas de Investigación social: Teoría y ejercicios (14ª ed., 2ª reimpresión). Madrid, parainfo.
- Tironi A. 2012. Propuesta teórica para el análisis topológico de redes ecológicas: en la búsqueda de la resiliencia ecosistémica. Tesis para optar al grado de Doctor en Ecología y Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Torres M. 2012. Evaluación de los instrumentos de gestión de recursos hídricos amenazados por actividad silvagropecuaria. El caso de la cuenca de Río Cruces (Chile). Trabajo final para optar al título de Máster en Planificación Territorial y Gestión Ambiental. Universidad de Barcelona.
- Tuvendal M., y Elmqvist T. 2011. Ecosystem Services Linking Social and Ecological Systems: River Brownification and the Response of Downstream Stakeholders. *Ecology and Society* 16: 4-21.
- Underwood E.C., Mulitsch M.J., Greenberg J.A., Whiting M.L., Ustin S.L. y Kefauver S.C. 2006. Mapping invasive aquatic vegetation in the Sacramento-San Joaquin Delta using hyperspectral imagery. *Environmental Monitoring and Assessment* 121: 47–64.
- UNESCO. 2003. Agua para todos, agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo.
- Universidad de Chile. 2005. Estado del Medio Ambiente en Chile 2005, Informe de país. Universidad de Chile, Instituto de Asuntos Públicos - Centro de Análisis de Políticas Públicas, CONAMA, CEPAL y PNUMA. 371 pp. [En línea: <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/GEOChile2005.pdf>].

USGS. 2013. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. United States Geological Survey, U.S. Department of Interior. [En línea: <http://eros.usgu.gov>].

Verardi G. 2013. Aplicación de herramientas de sensoramiento remoto para la conservación y gestión del humedal del río cruces. Seminario de título para obtener el grado de Biólogo Ambiental. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile

8. ANEXOS

ANEXO 1. Entrevistas

*Todas las preguntas se encuentran asociadas al periodo comprendido entre 1998-2005

Preguntas comunes

- 1.- ¿Ha observado algún tipo de cambio en la cuenca? (cambio en su estructura, composición)
- 2.- ¿Qué actividad es la que prima en la zona, agrícola, forestal o silvícola?
- 3.- ¿Dicha actividad, es también la que ocupa mayor superficie? ¿Ha notado algún cambio en los terrenos destinados a las plantaciones – Bosques – Ganadería?
- 4.- ¿Qué tipos de cultivos son los más explotados en la cuenca? ¿Hace cuánto tiempo que son éstos? ¿Han variado en el tiempo?
- 5.- ¿Hay terrenos abandonados? ¿Hay terrenos que notoriamente hayan modificado su uso?

Preguntas específicas

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)

- 6.- Durante el periodo, ¿hubo algún año en particular en que les hayan llegado mayor número de solicitudes para el cambio de uso del suelo? De ser así, ¿en qué sector se concentraban?
- 7.- ¿Hay alguna zona cuyos suelos se hayan visto gravemente afectados por algún cambio?
- 8.- ¿Qué tipos de fertilizantes se utilizan? ¿En cuánta cantidad? ¿han tenido que modificar el químico, la frecuencia de uso o la cantidad?
- 9.- ¿Ha sido implementado el programa *Sistema de Incentivo a la Recuperación de Suelos Degradados (SIRSD)* en la región? ¿Qué tipo de programa (de los 6 que ofrecen) ha sido el más solicitado? ¿Hay algún periodo en el que el número de solicitudes del



programa haya sido mayor?

Corporación Nacional Forestal (CONAF) e Instituto Nacional Forestal (INFOR)

6.- ¿Qué tipo de incentivos se han llevado a cabo para el desarrollo del sector forestal? ¿Desde cuándo se aplican?

7.- ¿Existe algún plan de forestación de suelos degradados?

8.- ¿Se ha potenciado el desarrollo de productos forestales no madereros

Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP)

6.- ¿Cuántos beneficiarios cuentan con el crédito de Enlace forestal? ¿En qué año se otorgaron en mayor cantidad?

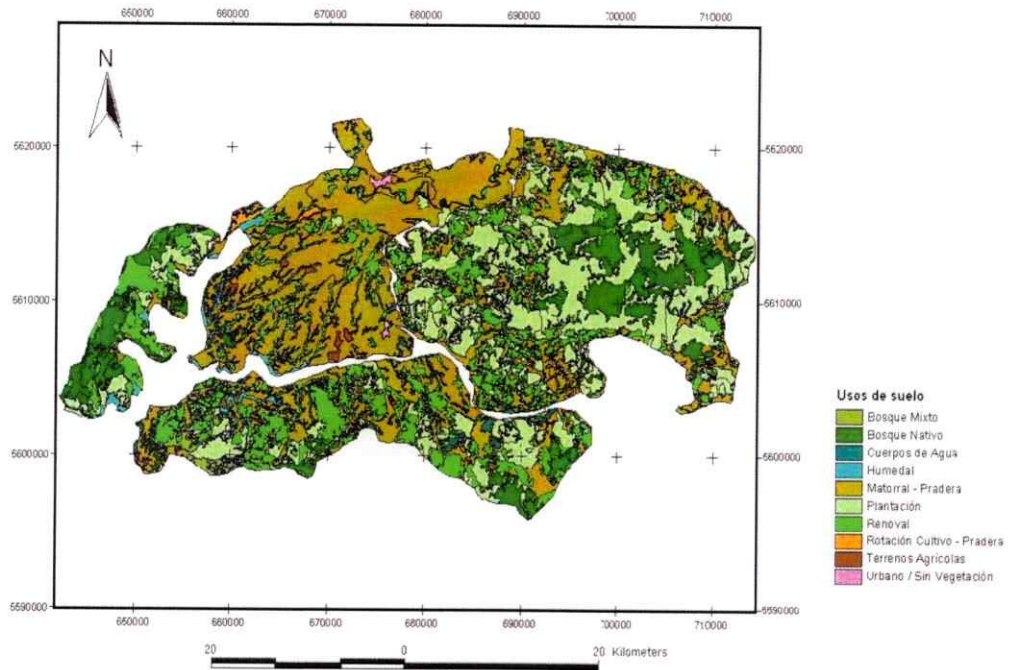
7.- ¿Ha sido implementado el programa *Sistema de Incentivo a la Recuperación de Suelos Degradados (SIRSD)* en la región? ¿Qué tipo de programa (de los 6 que ofrecen) ha sido el más solicitado? ¿Hay algún periodo en el que el número de solicitudes del programa haya sido mayor?

Instituto de Investigación Agropecuarias (INIA)

6.- ¿Qué tipo de tecnologías se han desarrollado en la región para la innovación de la industria alimentaria? ¿Hace cuánto se llevan a cabo?

ANEXO 2. Resultado coberturas de uso del suelo

Coberturas de uso del suelo 1996



Coberturas uso del suelo 2006

