



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

Detección y análisis del cambio de uso del suelo en la zona centro - norte de la provincia de Capitán Prat, XI Región período 1984-2003

Patrocinante: Sr. Víctor Sandoval V.

Trabajo de Titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de **Ingeniero Forestal**.

BERNARDA DEL PILAR PONCE OPAZO

VALDIVIA
2010

COMITÉ DE EVALUACIÓN

Agradecimientos

Agradecer a mí Ade, mujer de esfuerzo y gran corazón quien ha sabido cultivar en mí que con perseverancia y trabajo nada es imposible. A mi Ponce querido siempre preocupado, aunque no lo dijera... ahora entiendo que de ti herede el amor por los animales. A mis hermanos Andrea y Luis por permitir que este sueño se cumpliera en realidad. También agradecer a Fran, Ignacio, Belén y Blanca por todo el cariño entregado a mi familia.

A la familia González – Cifuentes, por acogerme en más de una ocasión como una hija, compartiendo agradables fines de semana junto a ellos. Así también a la familia Reyes – Igor por el apoyo constante y la ayuda brindada.

Como no mencionar a los amigos con los que “crecí” en esta etapa; Clau, Xolo, Jonathan, Felipe, Carito, Medel, Cristián M., C. Ortiz, Gaba, Katty, Dany y Serjio, cada uno ocupa un lugar especial en mi corazón.

A mi hermano de vida José Esteban por incentivar mis estudios fuera de casa y a pesar del tiempo y la distancia aún está ahí...

Al equipo del CESAMCO. En especial a Rodrigo y Benjamín por ayudarme a comprender desde otro punto de vista el como funciona todo... y qué lo verdaderamente importante es disfrutar de lo que realmente me hace feliz... y de las simplezas de las cosas.

Mención especial para mi “familia” y amigos del Laboratorio de Geomática, por soportar a esta “loca linda”, acogerme y brindarme su compañía y gratos momentos a Uds. Víctor, Alamiro, Mauricio, Yalili, Andrea, Anette, Juanito y Bernabé. Mención especial para Karla por todos los momentos compartidos y el apoyo constante para finalizar este trabajo. A Jorge... como dices tú “soy afortunado” gracias por la ayuda en la toma de datos y los consejos de vida.

A mis “funcionarios” queridos que pasan desapercibidos muchas veces a Uds. Don Panchis, Joesin, Don Jorge, Marcelo, Pablo, M^a Eugenia, Gloria, Raquel y Verónica, por la dedicación a su trabajo y lograr que la Facultad funcione. A mi querida amiga Alé por brindarme su amistad y abrir las puertas de su hogar.

A Don Adriano Rovira por ser participe de este trabajo. Así también, agradecer al Centro de Investigación de los Ecosistemas de la Patagonia (CIEP) por el financiamiento para desarrollar parte de este trabajo.

En estos últimos párrafos agradecer a los profesores Aldo Rolleri, Angélica Aguilar, Víctor Gerding, Juan Schlatter, Dolly Lanfranco, Pablo Donoso y al ex” profe Hernán Peredo. Cada uno de ellos colaboró en forma especial en mi etapa universitaria y en la entrega de conocimientos y formación.

En último lugar agradecer a mi querido profesor Víctor Sandoval por su preocupación, paciencia e impaciencia... sobre todo por creer y confiar en mí, por su apoyo incondicional y ser la figura paterna que se necesita cuando se está lejos de casa.

GRACIAS...

Dedicatoria

*En sus rostros cansados, en sus manos
que reflejan el esfuerzo de toda una
vida de trabajo...A Uds. Mi Ade y Ponce
y a todos los soñadores que no creen
en imposibles...*

ÍNDICE DE MATERIAS

Página

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Cambio del uso del suelo	3
2.1.1 Implicancia del cambio de uso del suelo en el mundo	3
2.1.2 Cambio de uso de suelo en Chile	4
2.2 Hitos históricos en la región	6
2.2.1 Los incendios y su implicancia en los ecosistemas	6
2.2.2 La construcción de la carretera Austral	7
2.3 Teledetección y sensores remotos	8
2.4 Imágenes satelitales Landsat	9
2.5 Procesamiento de imágenes	10
2.5.1 Correcciones radiométrica, atmosféricas y topográficas	10
2.5.2 Clasificación de la imagen	11
2.5.3 Post clasificación	11
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	13
3.1 Antecedentes del área de estudio	13
3.1.1 Ubicación, suelo y clima	13
3.2 Método	14
3.2.1 Usos de suelo a evaluar	14
3.2.2 Fuentes de información	14
3.2.3 Tratamiento previo de las imágenes	15
3.2.4 Calculo de índice de vegetación	16
3.2.5 Clasificación y validación de imágenes satelitales	17
3.2.6 Análisis y detección de cambios	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1 Tratamiento de las imágenes	18
4.1.1 Calibración radiométrica	18
4.1.2 Corrección atmosférica y topográfica	18
4.2 Índice de vegetación	19
4.3 Cartografía generada para cada uno de los años	20
4.4 Análisis entre períodos	22

4.4.1	Período 1984 – 1996	22
4.4.2	Período 1996 – 2003	24
4.4.3	Período 1984 – 2003	27

4.	CONCLUSIONES	31
-----------	---------------------	-----------

5.	BIBLIOGRAFÍA	32
-----------	---------------------	-----------

ANEXOS

1	Abstract
2	Tipos de resoluciones
3	Definiciones de los usos de suelo evaluados
4	Puntos de control
5	Superficie de uso de suelo absoluta años 1984, 1996, 2003
6	Matriz de confusión año 1984
7	Matriz de confusión año 2003

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Usos del suelo en el país al año 1999	5
Cuadro 2. Rangos de variabilidad de resolución (μm) espectral entre sensores y bandas	10
Cuadro 3. Concordancia de acuerdo al índice de Kappa	12
Cuadro 4. Usos de suelo a evaluar	14
Cuadro 5. Pendiente e intercepto para cada una de las bandas de los años respectivos	18
Cuadro 6. Matriz cruzada en el cambio de uso entre los años 1984 y 1996 (ha.)	23
Cuadro 7. Matriz cruzada en el cambio de uso entre los años 1996 y 2003 (ha.)	25
Cuadro 8. Matriz cruzada en el cambio de uso entre los años 1984 y 2003 (ha.)	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tendencia de pérdida (millones ha) de bosques en los distintos continentes	4
Figura 2. Árboles muertos y su extracción	7
Figura 3. Construcción tramo al sur del río Ñadis	8
Figura 4. Reflexión de la energía solar y sus diferentes tipos	8
Figura 5. Espectro electromagnético	9
Figura 6. Área de estudio	13
Figura 7. Corrección atmosférica y topográfica sobre la imagen del año 2003. La primera solo en composición 432; la segunda con las correcciones respectivas en composición 432.	19
Figura 8. Índices de vegetación: A) año 1984; B) año 2003	19
Figura 9. Usos del suelo según año. A) año 1984; B) año 1996; C) año 2003	21
Figura 10. A) Usos del suelo período 1984 – 1996; B) Cambio en superficie, año 1996 respecto 1984	22
Figura 11. A) Usos del suelo período 1996 – 2003; B) Cambio en superficie año 2003 respecto 1996	24
Figura 12. Mapas de superficie de cambio. A) año 1984 – 1996; B) año 1996 – 2003. En ambos casos las zonas sin color representan la superficie en que no hubo cambio de uso	26
Figura 13. A) Usos del suelo período 1984 – 2003; B) Cambio en superficie año 2003 respecto 1984	28
Figura 14. Mapa de cambio entre los años 1984 – 2003. Zonas en blanco no sufrieron cambio	30

RESUMEN

Se evaluó el cambio de uso del suelo en la zona centro norte de la provincia de Capitán Prat, XI Región, para los períodos 1984-1996, 1996- 2003 y 1984 – 2003, empleando solo el material satelital en el último período. Para ello se utilizaron imágenes satelitales Landsat, de los sensores TM y ETM +. Donde se procedió a evaluar siete cambios de usos según la metodología carta de ocupación de tierras (COT).

Se efectuaron los procedimientos necesarios para proceder a la clasificación de las imágenes a través del método supervisado. Una vez realizada la clasificación se elaboro una matriz de confusión para la determinación de los errores post clasificación, así como también la construcción de una tabla de doble entrada comparando los cambios de superficie por usos y entre usos. Se visito la zona de estudios donde se tomaron 115 puntos de control para tener certeza que la cartografía generada cumple con su finalidad.

Dentro de los resultados cabe señalar que se observa en primera instancia una disminución desde el año 1984 al 2003, del uso humedal equivalente a un 3%. Las causas asociadas se presumen fueron los incendios ocasionados por los colonos a su llegada, que alteraron parte de los ecosistemas considerados frágiles.

El uso bosques expandió su superficie en un 2%, siendo el uso matorral – pradera el que por consiguiente tuvo mayores pérdidas.

Palabras claves: Uso del suelo, imágenes Landsat, puntos de control

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas están en constantes cambios debido a muchos factores, siendo las perturbaciones naturales como incendios, inundaciones y tormentas las responsables de una profunda influencia en la evolución histórica de los paisajes. Sin embargo, esta evolución no sería del todo notoria, sin que la presencia del hombre haya actuado sobre ella, acelerando los procesos debido a una intervención con mayor frecuencia e intensidad de ocurrencia; ejemplo de ello, son la intensificación agrícola, abandono agrícola, deforestación y desarrollo humano (Peña, 2005), así como también, el crecimiento de especies arbóreas y arbustivas de un estado juvenil a adulto, la desertificación, los deslizamientos de tierras y las quemadas artificiales (CONAF, 2002). Dentro de éstos, la deforestación es uno de los procesos más estudiados alrededor del mundo, debido a su implicancia directa en el cambio climático (López y Bocco, 2001). La importancia de los bosques en el mundo, a causa de la función que cumplen éstos en el ciclo hidrológico y su importancia biológica, ya sea ésta a escala regional o global, han llevado a la realización de numerosos estudios, sobre todo en bosques tropicales (Lambin, 1997), con la finalidad de monitorear su evolución de manera más frecuente y por ende visualizar y cuantificar en cierto(s) período(s) de tiempo las consecuencias directas que puede causar la pérdida de este recurso.

En nuestro país, los estudios referentes a detección de cambios de usos de suelo en vastas zonas, tienden a ser realizados en temporalidades amplias, por lo que la información existente no es del todo constante, considerando que algunas regiones tienen una dinámica más activa que otras. Por esta razón, el convenio firmado en el año 1993 entre la Corporación Nacional Forestal (CONAF), la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), el apoyo del Banco Mundial y diferentes instituciones, como Universidades, para la realización del catastro nacional de la vegetación nativa chilena (CONAF, 1999) y en la actualidad, sus respectivas actualizaciones por Región, es de suma importancia. De acuerdo a lo señalado anteriormente y sumado a los costos asociados al trabajo operativo, han llevado a pensar en técnicas que minimicen los costos y la entrega de resultados, con el fin de lograr monitoreos más frecuentes. A escala local, otros estudios realizados por Altamirano y Lara (2010) evalúan la deforestación en los bosques templados, en zonas específicas de nuestro país, como también los efectuados por Aguayo *et al.*, (2009) que determinan la dinámica del paisaje del centro - sur a finales del siglo XX.

El surgimiento de herramientas de teledetección y sistemas de información geográficos, que proveen una visión sinóptica espacialmente explícita de los atributos de la superficie del planeta, se han constituido en una fuente de información imprescindible al momento de la caracterización de la cobertura y uso del territorio y del estudio del cambio en el uso del mismo, a distintas escalas así como también, para la elaboración de cartografía y seguimiento de zonas de interés. Estas herramientas, sumadas a otras geotecnologías tales como los sistemas de posicionamiento global brindan una nueva perspectiva para la cartografía y monitoreo del territorio (Antes *et al.*, 2006).

Considerando así, las ventajas que poseen las herramientas de teledetección, la utilización de imágenes satelitales han cobrado importancia, principalmente por la capacidad de abarcar amplias zonas, inclusive las de difícil acceso. Además, la rapidez con que se pueden obtener resultados preliminares del área que se desea estudiar y que se cuenta con una serie de satélites, capaces de entregar información en diferentes resoluciones, y períodos de tiempo, según el objetivo que se persiga, los hacen claramente interesantes de utilizar. Resaltan entre ellos los satélites de los programas Quickbird, Spot, Landsat (incluyendo sus respectivos sensores), entre otros (Cifuentes, 2008).

Pensando en la particularidad de ubicación de la provincia de Capitán Prat (zona bajo estudio) y sus vastos recursos, hace interesante evaluar, como han ido evolucionando sus respectivos usos, considerando que la colonización alrededor de los años 40 del siglo pasado, trajo consigo incendios que devastaron alrededor de 3 millones de hectáreas de bosque nativo, siendo la principal causa la habilitación para la ganadería (Gascón, 2005). Muchos de estos terrenos quedaron desprovistos de vegetación provocando en algunos casos degradación de los suelos lo que llevó a forestar con especies exóticas. Junto con ello la población ha ido en aumento, en la actualidad posee una población de 3.837 habitantes, de acuerdo al último censo del año 2002 (INE, 2007).

En función de lo anterior, el presente estudio busca determinar y analizar el cambio temporal del uso de suelo en la zona centro-norte de la provincia de Capitán Prat, XI Región, a través de imágenes satelitales Landsat para los años 1984 y 2003, incorporando la información generada en el proyecto catastro realizado en el año 1996. Siendo los objetivos específicos los siguientes:

- Emplear el índice de vegetación (NDVI) para detectar cambios de uso de suelo sobre bosques y matorrales.
- Generar cartografía respectiva a partir de imágenes satelitales y sistemas de información geográficos, comparando los cambios ocurridos entre períodos 1984 – 1996 y 1996 – 2003.
- Analizar los cambios de uso ocurridos entre períodos, asociándolos a la intervención humana efectuada en el lugar.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Cambio de uso del suelo

2.1.1 Implicancia del cambio de uso del suelo en el mundo

Antes de comentar los cambios de usos de suelo, cabe señalar las diferencias existentes entre los términos *cobertura* y *uso de suelo*. En forma pragmática, *cobertura*, describe los objetos que se distribuyen sobre un territorio determinado. *Uso del suelo*, en cambio, se refiere a la actividad socioeconómica que se desarrolla (o desarrolló) sobre una *cobertura*. El término *uso del terreno* se aplica a los diferentes tipos de *cobertura* que el hombre crea para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales (Bocco y Mendoza, 2001). Las características del uso de la tierra son el resultado de la interrelación entre los factores físicos o naturales y los factores culturales o humanos (Guhl, 2004).

La magnitud, extensión y velocidad de las alteraciones antrópicas sobre la superficie de la tierra no tienen precedentes en la historia de la humanidad (Lambin, 1997). Alrededor de la mitad de la superficie de la tierra ha sido directamente transformada por la acción humana. Estos cambios han sido tan dramáticos que se acercan a los niveles de transformación que ocurrieron durante los períodos glaciales. Goldewijk (citado por Aguayo *et al.*, 2009) determinó que durante el período 1700-1990, 1.206 millones de hectáreas fueron convertidas en terrenos agrícolas y 2.927 millones fueron transformadas en áreas de pastoreo. Por otra parte, entre 1700 y 1992, 1.621 millones de hectáreas fueron habilitadas para la agricultura de las cuales 885 millones correspondían a bosque, 565 millones a sabana/praderas/estepa, 150 millones a matorrales y 21 millones a tundras/desiertos.

Debido a estas transformaciones las tierras de cultivo y pastoreo son, en la actualidad, los usos terrestres más grandes del planeta, los que ocupan alrededor de 40 % de la superficie de la tierra (Aguayo *et al.*, 2009). Mundialmente, las actividades agropecuarias, junto con la extracción de madera, (disminución de los bosques) han causado una pérdida de cerca de 13 millones de hectáreas de bosques durante el último decenio, en comparación con 16 millones de hectáreas por año en la década de 1990, teniendo en consideración que las tendencias en nuestro continente son preocupantes: siguen teniendo la pérdida neta de bosque más elevada (figura 1) (FAO, 2010). Toda esta situación, ligada a factores ambientales (las características del suelo, el clima, la topografía, la vegetación), refleja la importancia del terreno como un factor fundamental para la producción.

El escenario es complejo pero sin duda las actividades realizadas por el hombre son las que han ocasionado en mayor importancia la pérdida de diversidad biológica, introducción de especies exóticas, cambio en el ciclo hidrológico, contaminación de la tierra, aire y agua, así como la disminución de la capacidad de rendimiento de tierras productivas (Bocco y Mendoza, 2001).

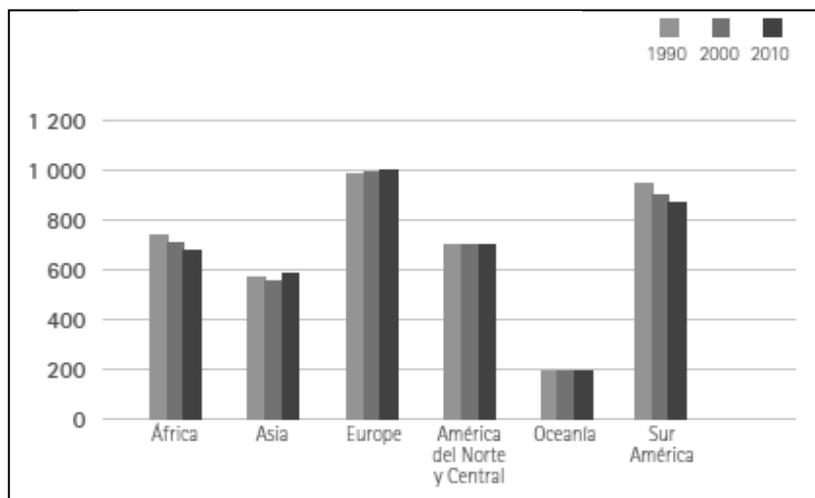


Figura 1. Tendencia de pérdida (millones ha) de bosques en los distintos continentes

2.1.2 Cambio de uso del suelo en Chile

En Chile, los primeros estudios sobre las transformaciones antrópicas del paisaje se realizaron en la zona central a fines de la década de los setenta (Aguayo *et al.*, 2009). En la década de los noventa, el gobierno de Chile, a través de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), realizó un gran esfuerzo para cuantificar los recursos vegetacionales nativos existentes en el país e inició una serie de monitoreos para detectar los cambios de cobertura (CONAF 1999). Recientemente, una serie de estudios se han realizado debido a la disponibilidad de nuevas herramientas disponibles como son, el uso de sistemas de información geográficos y la utilización de imágenes satelitales, que han permitido ampliar la ventana temporal de análisis reconstituyendo paisajes de hasta 30 años atrás (Echeverría *et al.*, 2006).

Estas investigaciones dan cuenta de las transformaciones del paisaje y exploran sus consecuencias ecológicas y sociales, así como también la vinculación con las pérdidas de superficies boscosas orientadas a determinar las causas de la disminución y fragmentación del bosque nativo e indagar sobre sus efectos (Echeverría *et al.*, 2006).

Estos antecedentes muestran que las principales causas de transformación del paisaje en el centro y sur del país fueron en un inicio la habilitación de terrenos para la agricultura, y, posteriormente, la expansión de las plantaciones forestales incentivadas por un fuerte subsidio estatal (Altamirano y Lara 2010).

Observando los resultados arrojados por el catastro de vegetación nativa, los usos de suelos predominantes en el territorio nacional corresponden, a áreas desprovistas de vegetación, praderas - matorrales y bosques (cuadro 1). Esta información, no considera las actualizaciones realizadas en algunas regiones a la fecha, pero a pesar de ello, es la fuente de información más completa que se tenga del territorio. Las

respectivas actualizaciones han permitido visualizar la variabilidad existente en cuanto a dinámica de cambio, por lo que basta con tener en cuenta por ejemplo la Región del Bío-Bío, que posee un ritmo acelerado de cambio y fragmentación de los ecosistemas¹ (CONAF, 2010) debido a las características que presenta, considerándose una de las regiones productivas en el sector forestal. Su ubicación geográfica, el acceso terrestre y el contar con una actividad portuaria importante pueden influir en esta situación.

Cuadro 1. Usos del suelo en el país al año 1999

USO	SUPERFICIE [ha]	PORCENTAJE [%]
Areas Urbanas e Industriales	182184,2	0,2
Terrenos Agrícolas	3814362,6	5,0
Praderas y Matorrales	20529673,1	27,1
Bosques	15637232,5	20,7
Humedales	4498060,7	5,9
Areas Desprovistas de Vegetación	24727789,5	32,7
Nieves y Glaciares	4646659,9	6,1
Aguas Continentales	1226828,9	1,6
Areas No Reconocidas	399769,4	0,5
TOTAL	75662560,8	100,0

En la Región de Aysen, la condición de aislamiento geográfico, ha contribuido, a que se haya mantenido hasta muy recientemente bastante ajena al crecimiento económico e industrializado acelerado que han experimentado otras regiones del país, que se basan en la explotación y procesamiento de materias primas (Gascón, 2005). Las actividades productivas en la actualidad recaen en la salmonicultura, turismo y forestería. La problemática entonces se basa principalmente en lo que ocurrió en el pasado y la manera en que se hizo (Martinic, 2005). También hay que considerar la baja densidad poblacional (aproximadamente 0,9 hab/km²), que repercute en la mano de obra disponible (INE, 2007).

¹ Apreciación personal tras trabajos en terreno realizados en la Región

2.2 Hitos históricos en la Región

2.2.1 Los incendios y el ecosistema

En el pasado grandes incendios provocaron cambios significativos pero lamentablemente no se cuenta con información precisa respecto a este tema (Martinic, 2005). Se sabe que producto de la colonización y el interés por habilitar zonas con fines ganaderos y agrícolas los colonizadores australes anillaron árboles para que se secaran en pie y avivaron las quemadas con los fuertes vientos de la primavera. A partir de 1937, se entregaron tierras en forma oficial a los primeros colonos, pero con la condición de que cada uno comenzara eliminando 120 hectáreas de bosque en su predio, lo que se hizo a fuego. Esta es la impronta histórica que en gran medida determina la situación actual (Contreras, 2007).

En el valle del río Simpson miles de quemadas dejaron el suelo descubierto y las rocas subyacentes sirvieron de superficie de deslizamiento. En 1961, producto de lluvias torrenciales, enormes bloques de tierra y bosque se deslizaron ladera abajo colmatando el río, que dejó de ser navegable. Puerto Aysén perdió su condición de tal y el puerto tuvo que ser trasladado a Bahía Chacabuco, con consecuencias territoriales, sociales y económicas que nunca han sido debidamente analizadas (Contreras, 2007).

La mayoría de las personas que colonizaron este territorio, llegaron con el legado de una cultura ganadera, por lo que el objetivo general era abrir y hacerse de campos para la crianza de animales (Astorga y Uribe, 2008). Así, la estepa patagónica de la Región, ha estado sometida a un severo proceso de sobrepastoreo, principalmente por ganado ovino, con cargas animales que superan tres y cuatro veces su capacidad sustentadora (Contreras, 2007). Esto ha originado un fuerte proceso de erosión, al quedar el suelo desnudo y expuesto al arrastre de sus partículas por el agua y el viento, decapitándose, de esta forma, el frágil horizonte orgánico de estos ecosistemas de reciente formación.

Una vez que los colonos lograron asentarse, fue necesario cercar a los animales. Además esta actividad no era del todo rentable, debido al aislamiento y los crudos inviernos. Aquí aparece un actor importante tanto a nivel cultural, social y económico: el Ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendrum uviferum*). Este monumental árbol era abundante en la zona. Pronto comenzó su utilización debido a la durabilidad de su madera. Se utilizó para la construcción de barcazas debido a su alto potencial de flotabilidad y bajo peso y densidad (Astorga y Uribe, 2008). También llegó a hacer empleado en la construcción de las líneas de ferrocarriles como durmientes. Aparece otro actor que es importante de mencionar, la *Sociedad Explotadora del Baker*, que comenzó a explotar este recurso a pequeña escala cerca de 1901, llevando postes hasta Punta Arenas (Martinic, 2005). Claramente, después de los roces efectuados para la habilitación de los campos quedaron árboles muertos en pie, reconocibles fácilmente por el color grisáceo de su corteza y el inconfundible aroma que posee.

En la actualidad aún es posible de observar restos de las hectáreas quemadas (figura 2) y parte de los árboles muertos en pie. Estos se extraen y se llevan a los aserraderos cercanos produciendo piezas de alto valor.



Figura 2. Trozas y arboles muertos de *Pilgerodendron uviferum*

2.2.2 La construcción de la carretera Austral

La construcción de la carretera Austral comenzó en agosto 1976, el objetivo principal fue conectar el territorio nacional y mejorar la calidad de vida de los colonos de la Patagonia chilena. Desde Puerto Montt, el camino penetra por territorios únicos en el mundo, recorriendo 1.240 kilómetros hasta Villa O'Higgins en la Región de Aysén, y desde Puerto Yungay hasta Puerto Natales, en la Región de Magallanes, sirviendo a más de 37 localidades (VanSchouwen, 2003).

El tramo que nos interesa es el comprendido entre Cochrane y Puerto Yungay. Éste, comprendió una extensión de 124 km. que se iniciaron en la ribera sur del río El Salto, por un terreno firme, semi-ondulado. La topografía del lugar hacia el sur dificultó la construcción (figura 3), especialmente en la zona del río Barrancoso y los terrenos húmedos difíciles de estabilizar. Al llegar a la zona del río Ñadis, debido a que es un cuerpo de agua mayor, se construyó un puente definitivo de 70 metros de longitud y 7 metros de calzada. En enero del año 1994 un grupo de trabajadores perdió la vida producto de un deslizamiento de improviso. Finalmente en marzo del año 1996 se logró la unión del tramo definitivo (Fundación Augusto Pinochet, 1997). El movimiento de tierras y el uso de explosivos, removió parte de la vegetación existente.



Figura 3. Construcción tramo al sur del río Ñadis

2.3 Teledetección y sensores remotos

La teledetección o percepción remota es la ciencia y el arte de obtener información acerca de un objeto, área, o fenómeno a través del análisis de datos adquiridos por un dispositivo que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (Lillesand *et al.*, 2004). Por otra parte Chuvieco (2002) define la teledetección como aquella técnica que permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre.

Cualquier sistema de teledetección debe poseer tres elementos esenciales: sensor, objeto observado y el flujo energético que los pone en relación y permite, en última instancia, detectar el objeto. Este flujo de energía puede originarse por reflexión de la luz solar, de un tipo de energía emitida por el propio objeto, o por el sensor. Son estas tres formas la manera de adquirir información a partir de un sensor remoto: por reflexión, por emisión y emisión-reflexión (figura 4) (Chuvieco, 2002).

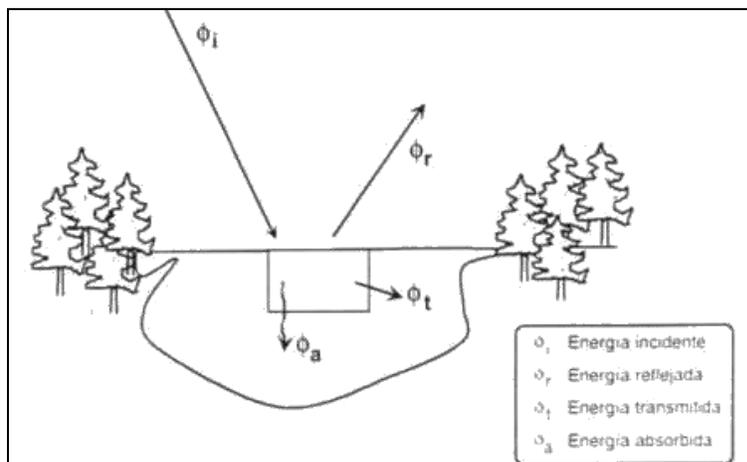


Figura 4. Reflexión de la energía solar y sus diferentes tipos

El flujo de energía entre el objeto y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética, que es la forma en que se transfiere la energía en los sistemas de teledetección (Jensen, 1996).

La descripción de la radiación electromagnética se realiza en función de su longitud de onda o frecuencia, de tal modo que la sucesión de valores de longitud de onda permite establecer una serie de bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar, siendo la organización de estas bandas lo que conocemos como espectro electromagnético (figura 5) (Chuvieco, 2002).

El término sensor incluye todos aquellos instrumentos que detectan y miden a distancia radiación electromagnética emitida y reflejada (Lillesand *et al.*, 2004). Esto significa que aquellos sensores remotos de mayor resolución espectral tienen mayor capacidad de discriminar distintos objetos o coberturas del suelo.

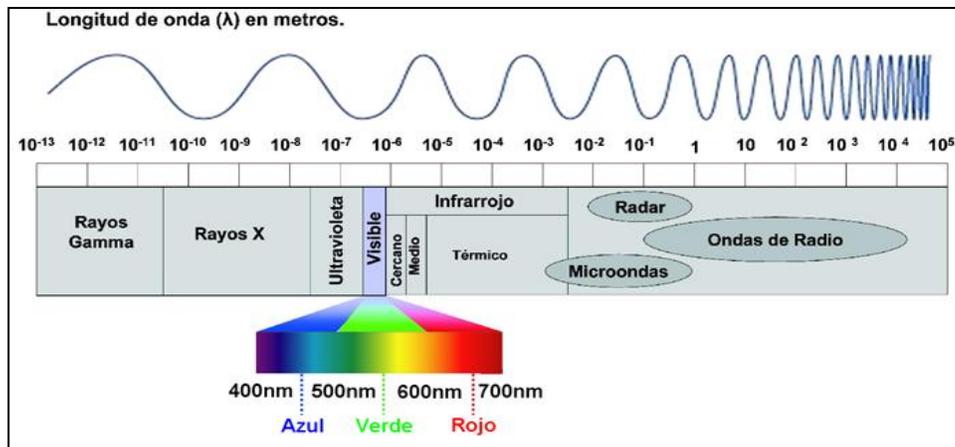


Figura 5. Espectro electromagnético

2.4 Imágenes satelitales Landsat

Por más de tres décadas los satelitales Landsat han capturado información que ha permitido realizar estudios y evaluar los cambios producidos. Fue el primer programa de satélites de percepción remota para observación de los recursos terrestres. Desde el lanzamiento del primer satélite en 1972 con el sensor *Multispectral Scanner* (MSS) los desafíos por contar con un mejor producto no ha cesado. Así, desde 1984 se cuenta con el sensor *Thematic Mapper* (TM) y a partir de 1999 con *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+). Son estos últimos los que se mantienen operativos. Entre ellos presentan algunas diferencias como la incorporación de una banda pancromática, con una resolución² (Anexo 2) de 15 m en el sensor ETM+, pero al considerar que el área que cubre una sola imagen (escena) se mantiene en los 185 x 185 km y que el período de revolución es de 16 días, hace que sea una buena alternativa para realizar estudios multitemporales (ESRI, 2009).

² Existen tres tipos de resolución que se detallan en el anexo correspondiente

En el cuadro 2, se presentan los rangos en que varía cada una de las bandas.

Cuadro 2. Rangos de variabilidad de resolución (μm) espectral entre sensores y bandas

Sensor	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8
TM	0,45	0,52	0,63	0,76	1,55	10,4	2,08	-
	0,52	0,60	0,69	0,90	1,75	12,5	2,35	-
ETM +	0,45	0,53	0,63	0,78	1,55	10,4	2,09	0,52
	0,52	0,61	0,69	0,90	1,75	12,5	2,35	0,90

2.5 Procesamiento de imágenes

Normalmente, antes de comenzar cualquier análisis sobre la información recogida desde un sensor remoto es necesario un tratamiento previo de los datos en cuestión. Este proceso se conoce en la literatura como “*Image Preprocessing*” y esta destinado a corregir el distorsionado de la imagen para crear una representación más fiel de la escena original. Esto típicamente involucra el procesamiento inicial de datos crudos de las imágenes a corregir para distorsiones geométricas, calibración radiométrica, y correcciones atmosféricas presentes en los datos (Lillesand *et al.*, 2004).

2.5.1 Correcciones radiométrica, atmosféricas y topográficas

En cuanto a la corrección radiométrica Jensen (1996), señala que idealmente, el flujo de radiación recogido por un sensor remoto, en varias bandas, es una representación precisa del flujo de radiación de las características de la superficie terrestre. Desafortunadamente esto no ocurre y pueden ingresar errores al sistema de colección de información. Es en éste punto donde se hace necesario realizar la corrección radiométrica pertinente. Entre ellas destacan la corrección absoluta y relativa. La primera considera aspectos de la transmitividad atmosférica, irradiancia difusa del cielo y ruta de la radiancia para así determinar cómo el efecto atmosférico afecta la radiancia medida por el sensor remoto. La segunda se utiliza para normalizar las intensidades entre las diferentes bandas dentro de una escena (por ejemplo para remover la respuesta errónea del sensor, líneas abandonadas o rayados) y para normalizar las intensidades de las bandas

Las correcciones atmosféricas se realizan a causa de que no todos los componentes se ven afectados de igual forma. El espesor de la atmósfera puede variar y las nubes pueden afectar la percepción del sensor producto que no recibe la radiancia que efectivamente sale desde el suelo (Chuvienco, 2002).

Las correcciones topográficas permiten compensar las diferencias de iluminación solar, debido a la variación altitudinal del terreno. Las zonas de umbría presentan menos reflectividad de lo que debieran, mientras que las zonas soleadas presentaban una reflectividad más alta de lo esperado (Jensen, 1996).

2.5.2 Clasificación de la imagen

Es el proceso mediante el cual los píxeles de una imagen satelital multibanda son etiquetados según la categoría a la que pertenecen. A partir de esta imagen puede generarse una cartografía temática y el inventario estadístico de la superficie involucrada en cada categoría. Esta clasificación digital distingue fases como definición digital de las categorías (fase de entrenamiento), agrupación de los píxeles en una de esas categorías (fase de asignación), y comprobación y verificación de resultados (Chuvieco, 2002).

2.5.3 Post clasificación

Una vez realizada la clasificación se recomienda comprobar que tan bien fue realizada ésta. Para ello, se utiliza como herramienta de medición una matriz de confusión la cual contempla los píxeles clasificados, como los que no fueron lo fueron. Para ello se utilizan los parámetros de exactitud global, exactitud del usuario, exactitud del productor e índice de Kappa (ENVI, 2005).

- Exactitud global (overall accuracy): este índice es global e indica cómo la exactitud se reparte entre las diversas categorías individuales. Muchas veces las categorías individuales presentan exactitudes drásticamente diferentes pero se combinan de modo que esto no se refleja en la exactitud global.
- Exactitud del usuario (user's accuracy): se calcula dividiendo el número de píxeles correctamente clasificados en cada categoría por el número total de píxeles que fueron clasificados en dicha categoría (total de la fila). Se justifica este índice en el sentido de que el usuario está especialmente interesado en el porcentaje de cada clase que ha sido correctamente clasificado.
- Exactitud del productor (producer's accuracy): Resulta de dividir el número de píxeles correctamente clasificados en cada categoría por el número de píxeles de referencia utilizados para dicha categoría (total de la columna). El productor está más interesado en este índice pues le dice cuán bien los píxeles de referencia han sido clasificados. Las medidas de exactitud señaladas, aunque simples de usar están basadas sea en la diagonal principal, sea en las filas y columnas de la matriz de confusión solamente. Estas medidas no aprovechan la información contenida en dicha matriz considerada en conjunto. Más aún, puede ocurrir que una distribución totalmente aleatoria de los píxeles en las clases pueda conducir a resultados aparentemente correctos en la matriz de confusión.

Buscando superar estos inconvenientes se ha propuesto un índice denominado coeficiente Kappa. Este estadístico es una medida de la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un clasificador automático y la oportunidad de lograr una clasificación correcta con un clasificador aleatorio, el que según sus resultados se agrupa como se observa en el cuadro 3.

Cuadro 3. Concordancia de acuerdo al índice de Kappa

Valoración del índice de Kappa	
Valor de K	Fuerza de la concordancia
< 0,20	Pobre
0,21 - 0,40	Débil
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Buena
0,81 - 1,00	Muy buena

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Antecedentes del área de estudio

3.1.1 Ubicación, clima y suelo

El área de estudio se encuentra en la zona centro-norte de la provincia de Capitán Prat, ubicada entre los 47° 24' 30.95" latitud sur y los 73° 0.8' 41.48" longitud oeste, abarcando una superficie de 1.2 millones de hectáreas aproximadamente (figura 6). Pertenece político-administrativamente a la Región de Aysén. Dentro de la provincia, es posible encontrar al menos tres tipos de clima: templado frío lluvioso, continental transandino con degeneración esteparia y de hielo por efecto de altura (INE, 2007). Respecto a los suelos tienden a ser pocos evolucionados, en general son de texturas franco arenosas a areno franco en superficie y con presencia de horizontes de iluviación escasamente desarrollados. En sectores planos la evolución de los suelos se ve fuertemente marcada por las condiciones hídricas excesivas, las cuales quedan en evidencia por napas de aguas superficiales o muy cercanas a la superficie. Los suelos ubicados en sectores con pendientes superiores al 10% o bien cotas superiores al nivel de los valles, tienden a presentar un desarrollo incipiente del horizonte B, el cual no supera los 40 cm de espesor (Townley *et al.*, 2007).

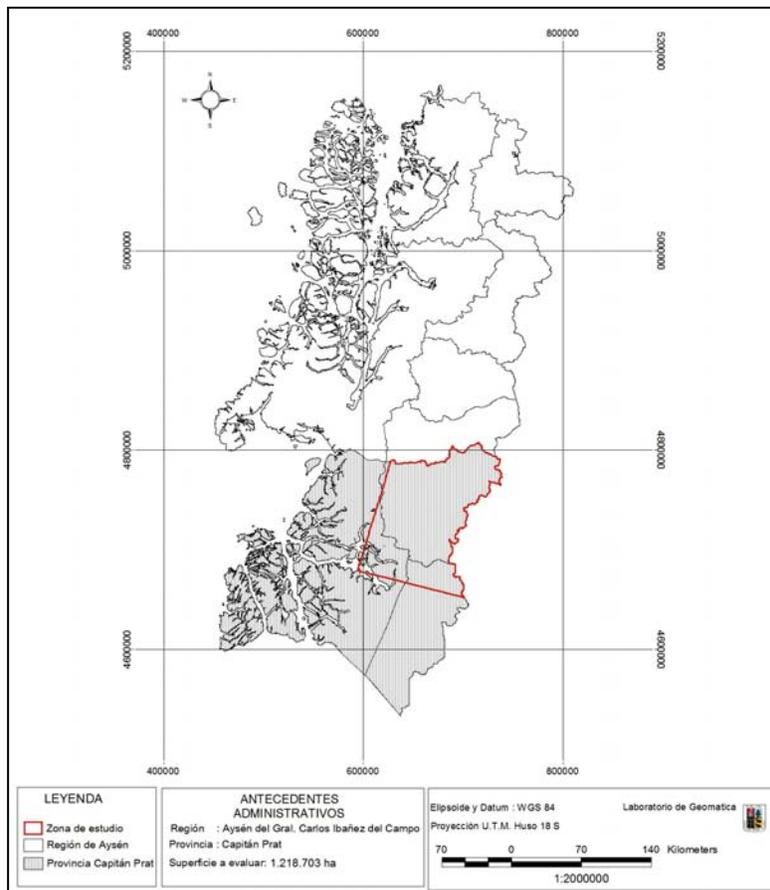


Figura 6. Área de estudio

3.2 Método

3.2.1 Cambios de usos a evaluar

Se consideró la clasificación de uso de suelo desarrollada por el Centro de Estudios Fitosociológicos y Ecológicos L. Emberger (CEPE de Montpellier), conocida como carta de ocupación de tierras (COT), de ella se contemplaron los usos señalados en el cuadro 4 y la respectiva definición (Anexo 3). Cabe señalar que esta clasificación ha sido utilizada en las fases de actualización y monitoreo del “Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile” realizado en varias regiones del país.

Cuadro 4. Usos de suelo a evaluar

Código	Uso
3	Praderas y matorrales
4	Bosques
5	Humedales
6	Áreas desprovistas de vegetación
7	Nieves eternas y glaciares
8	Cuerpos de agua

3.2.2 Fuentes de información

La determinación y análisis de los cambios de usos de suelo comprendió una ventana temporal de 19 años. Ésta, consideró en primera instancia, el análisis entre los años 1984-1996, 1996-2003 y por último el periodo completo sólo con el material satelital. Para ello, los usos de suelo fueron derivados de la clasificación de dos imágenes satelitales Landsat, utilizando las escenas 231-093. Para ello, se contó con el material proporcionado por el sensor TM, con fecha 26 de diciembre de 1984, mientras que para el último año se empleó la información del sensor ETM+, con fecha 22 de enero de 2003. Las escenas fueron obtenidas desde la galería de imágenes del USGS (<http://glovis.usgs.gov>) cuyo nivel de procesamiento incluyó correcciones radiométricas, atmosféricas y topográficas. Además, se utilizó como apoyo la información vectorial generada del “Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile” tanto para el año 1996 como para la elaboración de zonas de entrenamiento, teniendo presente que solo se considerará como tendencial, debido a errores que posee la base.

Si bien, las características de ambos sensores entregaban un tamaño de pixel de 28 x 28 m, las imágenes fueron reagrupadas en celdas de 223 x 223 m. con el objeto de obtener un área mínima cartografiable de alrededor de 5 ha. para hacerlas comparables con la información del año 1996. El material empleado se asoció al sistema de coordenadas UTM, con datum geográfico WGS 84, huso 18 sur.

Se empleó el software ENVI 4.2., para la visualización, análisis y presentación de imágenes satelitales. Toda la información desplegada del programa, se guardó en formato bil, para posteriormente trabajar con Arcview 3.3 y ArcGis, obteniendo las coberturas necesarias en formato vectorial.

3.2.3 Tratamiento previo de las imágenes

Se realizó una corrección radiométrica a ambas imágenes, con el propósito de transformar los valores de nivel digital a valores de brillo o radiancia espectral, utilizando para ello la metodología propuesta por Chander *et al.*, (2009), que consistió básicamente en utilizar las constantes según sensor y obtener la pendiente (G) e intercepto (B) para cada banda y año respectivamente.

$$L_{\lambda} = G_{rescalado} \times Q_{cal} + B_{rescalado} \quad (1)$$

Donde:

$$G_{rescalado} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right)$$

$$B_{rescalado} = LMIN_{\lambda} - \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) Q_{calmin}$$

Donde:

L_{λ} = radiancia espectral en la apertura del sensor [W/(m² sr μm)]

Q_{cal} = valor de pixel calibrado cuantificado [DN]

Q_{calmin} = mínimo valor de pixel calibrado cuantificado correspondiente a $LMIN_{\lambda}$ [DN]

Q_{calmax} = máximo valor de pixel calibrado cuantificado correspondiente a $LMAX_{\lambda}$ [DN]

$LMIN_{\lambda}$ = radiancia espectral en el sensor que es escalada para Q_{calmin} [W/(m² sr μm)]

$LMAX_{\lambda}$ = radiancia espectral en el sensor que es escalada para Q_{calmax} [W/(m² sr μm)]

$G_{rescalado}$ = Factor de ganancia reescalado para una banda específica [(W/(m² sr μm))/DN]

$B_{rescalado}$ = Factor de sesgo reescalado para una banda específica [(W/(m² sr μm))/DN]

Posterior a esto se efectuó la conversión a reflectancia TOA (L_λ a ρ_λ) para obtener una reducción en la variabilidad de escena a escena, donde se transformó la radiancia espectral a reflectancia TOA exoatmosférica, también conocida como albedo planetario, para cada una de las bandas utilizadas. La información necesaria para éste cálculo se obtuvo de la cabecera de cada imagen.

$$\rho_\lambda^n = L_\lambda^n \frac{\pi d^2}{E_\lambda^n \cos \theta_s} \quad (2)$$

Donde:

n= Banda de la escena

ρ_λ = Reflectancia Planetaria TOA [sin unidades]

π = Constante matemática aproximadamente igual a 3.14159 [sin unidades]

L_λ = Radiancia espectral en la apertura del sensor [W/(m² sr μ m)]

d= Distancia Tierra-Sol [unidades astronómicas]

E_λ = Irradiancia solar exoatmosférica media [W/(m² μ m)]

θ_s = ángulo zenital solar (grados)

Una vez realizada la corrección radiométrica se efectuó una corrección atmosférica mediante el método de substracción de pixeles oscuros, utilizando objetos como cuerpos de agua (Chávez, 1986). Para ello se utilizó el módulo preprocessing, dark subtract de ENVI. Las áreas con topografía muy abrupta fueron corregidas con apoyo de un modelo de elevación digital de resolución de 90 m, para evitar dificultades en la posterior clasificación de las imágenes satelitales debido a cambios en los valores espectrales.

3.2.4 Cálculo de índices de vegetación

Con el propósito de mejorar la discriminación de las cubiertas de uso del suelo, se aplicó el índice de vegetación *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) para cada escena. Este índice de vegetación justifica su aplicación debido a las diferencias en el comportamiento espectral entre la vegetación verde saludable, la vegetación muerta o senescente, y los suelos secos y desnudos permitiendo de este modo, agilizar el proceso de detección.

$$NDVI = \frac{B4 - B3}{B4 + B3} \quad (3)$$

Donde:

B4 = Banda 4 del sensor Landsat TM o ETM+

B3 = Banda 3 del sensor Landsat TM o ETM+

3.2.5 Clasificación y validación de imágenes satelitales

Antes de clasificar la imagen Landsat del año 1984 se realizó una composición utilizando las bandas espectrales 4, 3 y 2 (falso color). Luego, se procedió a realizar el “layer stacking” de las bandas para trabajar sobre un solo archivo. Con ayuda de una Región de interés del área de estudio efectiva se cortó la imagen. Se cargaron las coberturas vectoriales generadas de catastro del año 1996, que sirvieron de referencia para la elaboración de áreas de entrenamiento. Además de consultar material histórico referente al año bajo estudio.

Para la imagen del año 2003 se procedió a realizar la misma composición (RGB) con las bandas 4, 3 y 2 y el posterior “layer stacking”. Se utilizó la misma información vectorial del año 1996, además de la campaña de terreno realizada por parte del equipo de Geomática, en la Región, el año 2007. Las áreas de entrenamiento para cada imagen se realizaron según clase de uso de suelo.

A ambas imágenes se les aplicó un procedimiento de clasificación supervisada, con el algoritmo máxima verosimilitud. Una vez realizada esta clasificación, se complementó y controló por medio de 115 puntos de control en terreno (Anexo 4) para las zonas que presentaron confusión y aquellas en que hubo una notoria intervención antrópica. Además, en cada imagen, se realizó una post-clasificación por medio de una matriz de confusión, que entrega entre otras cosas, la exactitud de la clasificación a través del índice de Kappa y la exactitud global.

3.2.6 Análisis y detección de cambios

Para el análisis entre períodos se consideró la cartografía generada con su respectiva información. De ésta se realizó una depuración de las bases de datos para obtener los cambios entre períodos.

Se analizaron cada uno de los usos respectivos verificando las pérdidas o ganancias que hayan existido entre los períodos. Con ésta información se generaron los respectivos mapas temáticos de acuerdo al año, calculando la superficie absoluta de cada año (Anexo 5), permitiendo posteriormente elaborar matrices cruzadas de cambios, para los períodos bajo estudio de acuerdo a la metodología señalada por Sandoval y Real (2005).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Tratamiento de las imágenes

4.1.1 Calibración radiométrica

A continuación, en el cuadro 5, se observan los coeficientes empleados para las ecuaciones y convertir a reflectancia, los niveles digitales que componen las imágenes (TM y ETM+) utilizadas. Éste procedimiento es considerado por autores como Chander *et al.*, (2009) de vital importancia, ya que omisiones o mal interpretaciones de los datos entregados por la cabecera de la imagen, pueden alterar notablemente el resultado.

Cuadro 5. Pendiente e intercepto para cada una de las bandas de los años respectivos

Sensor	Banda	G	B
TM 1984	1	0,0017	-0,0051
	2	0,0035	-0,0104
	3	0,0030	-0,0063
	4	0,0037	-0,0101
	5	0,0024	-0,0097
	7	0,0034	-0,0115
ETM + 2003	1	0,0029	-0,0184
	2	0,0033	-0,0209
	3	0,0031	-0,0193
	4	0,0031	-0,0285
	5	0,0027	-0,0244
	7	0,0026	-0,0229

Aunque no se utilizaron todas las bandas en el estudio, se decidió realizar el ajuste respectivo a todas ellas para visualizar los rangos entre imágenes.

4.1.2 Corrección atmosférica y topográfica

Una vez realizado este procedimiento fue posible observar el cambio notorio de coloración en los pixeles de las imágenes (figura 7). Lo que concuerda con lo que expresa Riaño *et al.*, (2000) quienes señalan, que con estos procedimientos es posible disminuir el error producto de sombras, relieve y del propio sensor.

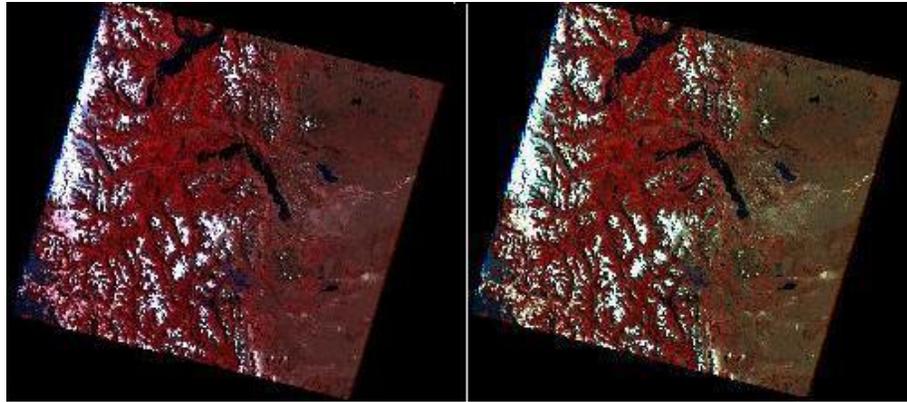


Figura 7. Corrección atmosférica y topográfica sobre la imagen del año 2003. La primera sólo en composición 432; la segunda con las correcciones respectivas en composición 432.

4.2 Índices de vegetación

Tras las respectivas correcciones se aplicó el índice de vegetación para los años 1984 y 2003. Estos sirvieron de apoyo para la fotointerpretación. En la figura 8 se observan los índices generados y las diferencias existentes, donde sin análisis previo se observa una disminución de la vegetación existente, considerando que los colores verdes indican la presencia de vegetación y los otros descartan ese uso. Los puntos de control, indican que para el caso del año 2003 en la zona de Caleta Tortel (bajo círculo), debió existir más vegetación de la que es posible observar en la gráfica. Sin embargo, esta situación puede deberse a la época de las imágenes. Ambas escenas utilizadas fueron captadas en el período verano, no obstante esto es una clara señal que la reflectancia no es la misma aunque se esté dentro del mismo período de evaluación. El ángulo solar y su incidencia pueden haber afectado la reflectividad de la vegetación (Riaño *et al.*, 2000), además de las condiciones climáticas.

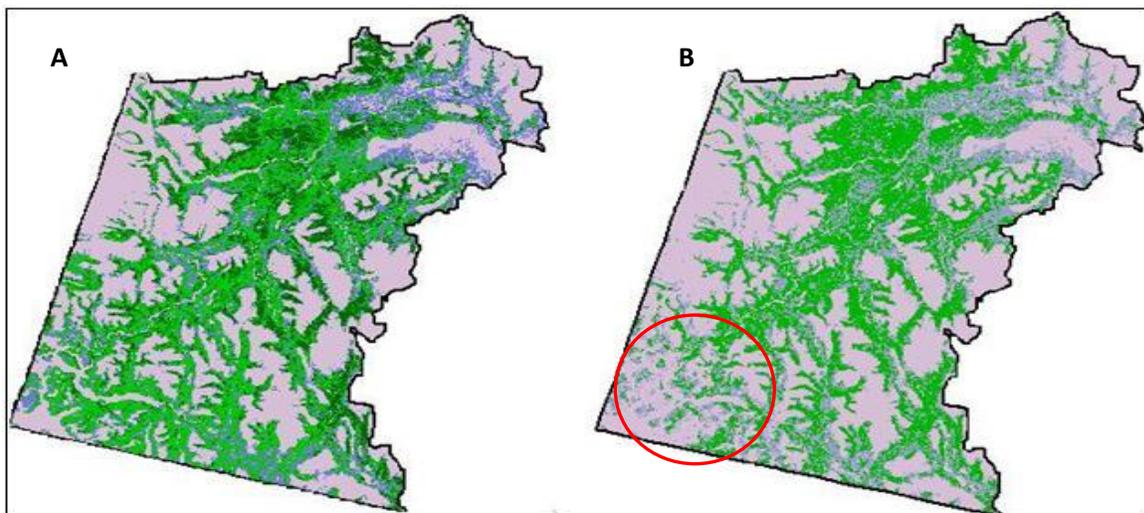


Figura 8. Índices de vegetación: A) año 1984; B) año 2003

4.3 Cartografía generada para cada uno de los años

Se generó la cartografía para cada año respectivamente, notando ciertas diferencias a primera vista (figura 9). En el caso del año 1984, el índice de Kappa, correspondió a un 0,79 lo que es considerado muy bueno de acuerdo a la fuerza de concordancia. A su vez la exactitud global fue de un 83,9%. Estas cifras nos indican que la clasificación fue realizada correctamente (ENVI, 2005).

Se corroboró mediante los puntos de control, que si bien fueron obtenidos en el verano 2010, sirvieron de referencia, sobre todo en zonas que no han sufrido algún tipo de intervención, como es el caso de las reservas, que deberían generar cambios de crecimiento dentro de su propio uso y no entre usos, salvo en que factores ambientales hayan intervenido. De estos, el 66% se ajustó a lo observado.

En el año 1996, la cartografía se obtuvo del proyecto catastro realizado en dicho año en la Región. Se observaron imprecisiones en cuanto a la asignación sobre todo en los usos 3, 4 y 5, asumiendo que las posibles causas fueron la accesibilidad de la zona, en que muchas de las áreas que no pudieron ser visitadas se extrapolaron erróneamente³. Respecto a los puntos de control solo el 43% de ellos se ajustó a lo observado, especulando que, desde el año en cuestión a la fecha, los cambios sobre todo en los usos descritos anteriormente no han sido acelerados, ya que estos ecosistemas poseen una tasa lenta de recuperación (Quintanilla, 2008).

La clasificación en el año 2003, alcanzó un índice de Kappa de 0,6%, considerado como bueno y la exactitud global ascendió a un 72,1%. El 65% de los puntos de terreno concordaron con lo observado.

En todos los años, principalmente en el que se utilizó material satelital, se atribuyen los errores, al límite espectral difuso entre un uso y otro. Los más complejos: matorrales, bosques y humedales, sobre todo en este último, que de acuerdo con Quintanilla (2008) la mayor parte de la superficie afectada por incendios poseía una cubierta húmeda, típica de la vegetación asociada a mallines, lo que ocasionó altas temperaturas y que estos incendios persistiesen en el tiempo. Además, la situación del uso humedales es compleja, desde el punto de vista del fotointerprete, ya que dependiendo del profesional que efectúe el trabajo puede asignarle un uso distinto según las pautas de clasificación que se utilicen.

El detalle entre los respectivos períodos se presenta en el punto 4.4.

³ Esto se utiliza cuando no es posible llegar al área, asignándole el uso respectivo de acuerdo a características semejantes de otros usos

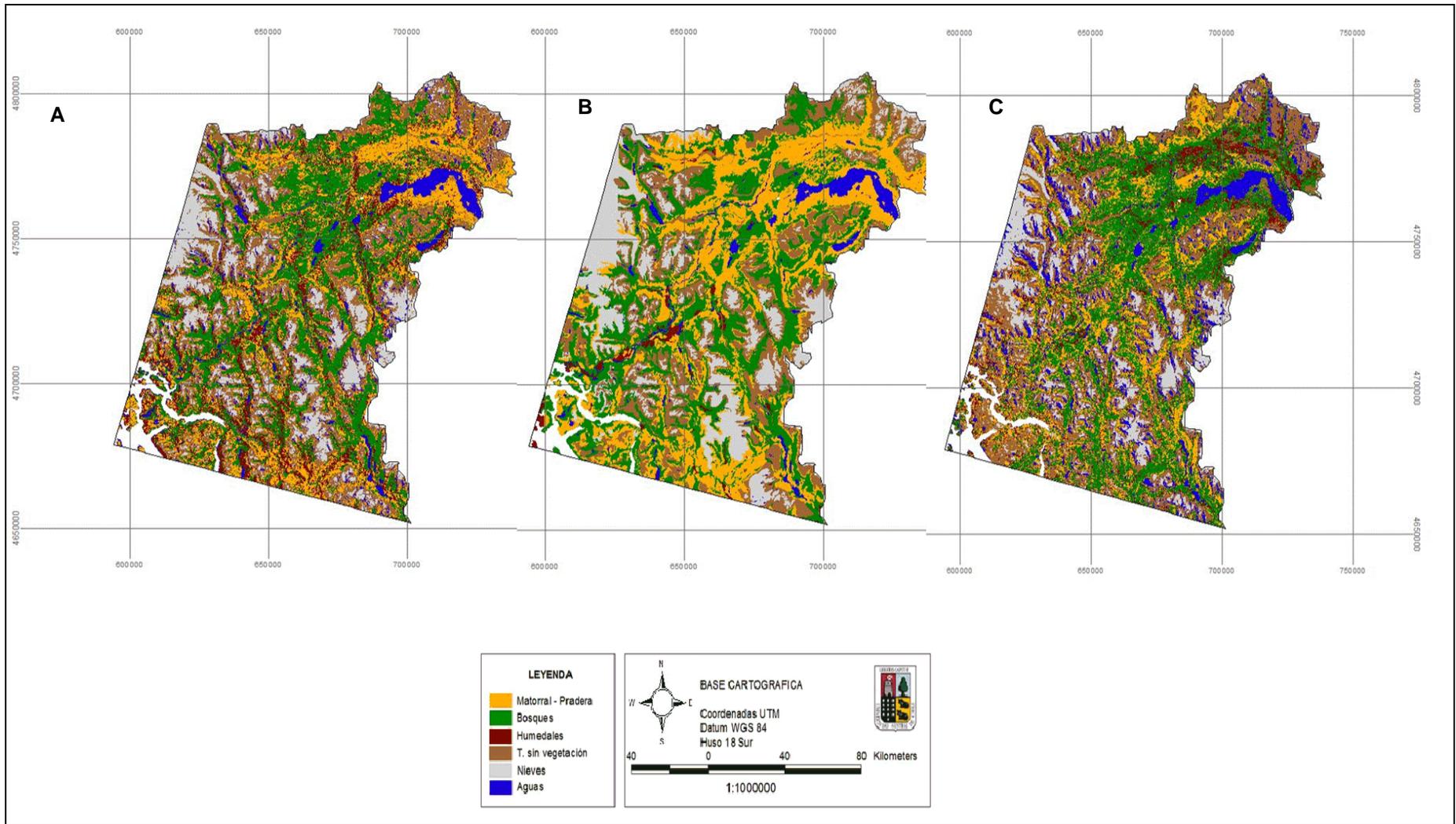


Figura 9. Uso del suelo según año. A) año 1984; B) año 1996; C) año 2003.

4.4 Análisis entre períodos

4.4.1 Período 1984 – 1996

Según se desprende del análisis efectuado entre los años 1984 y 1996 por medio de apoyo gráfico (figura 10) y de la matriz de cambio elaborada (cuadro 6), todos los usos presentaron cambios. Los que aumentaron en superficie al año 1996 fueron los usos matorral-pradera, bosques y nieves. Los incrementos sufridos por los usos mencionados anteriormente se deben en su mayoría al traspaso de superficie desde el uso humedal, que disminuyó drásticamente en un 11%.

Considerando que dentro de los humedales es posible encontrar especies arbóreas como el Ciprés de las Guaitecas, que de acuerdo con Donoso (2006) su autoecología le permite desarrollarse en estos ambientes, no como un individuo de grandes dimensiones, si no más bien en un estado “suprimido” y que producto de los trabajos efectuados para la construcción de la carretera Austral, en que se empleó gran cantidad de explosivos, removiendo parte de la cobertura original y generando gran cantidad de material rocoso, los suelos típicos de los humedales perdieron parte de sus características, ocasionando a vista del evaluador en terreno⁴ un matorral o bosque (dependiendo de su cobertura y estructura) de dicha especie u otras.

En términos demográficos la población existente en la provincia tuvo un aumento de 1.112 habitantes (INE, 2002) lo que ocasionó una fuerte presión por adquirir material para la construcción de viviendas y calefacción, que adquirirían de los árboles muertos en pie, sobre los mallines, que les permitían maniobrar de mejor manera los fustes ya que no se encontraban en zonas con topografía abrupta, si no más bien, en áreas planas, aledañas a la construcción del camino (Martinic, 2005).

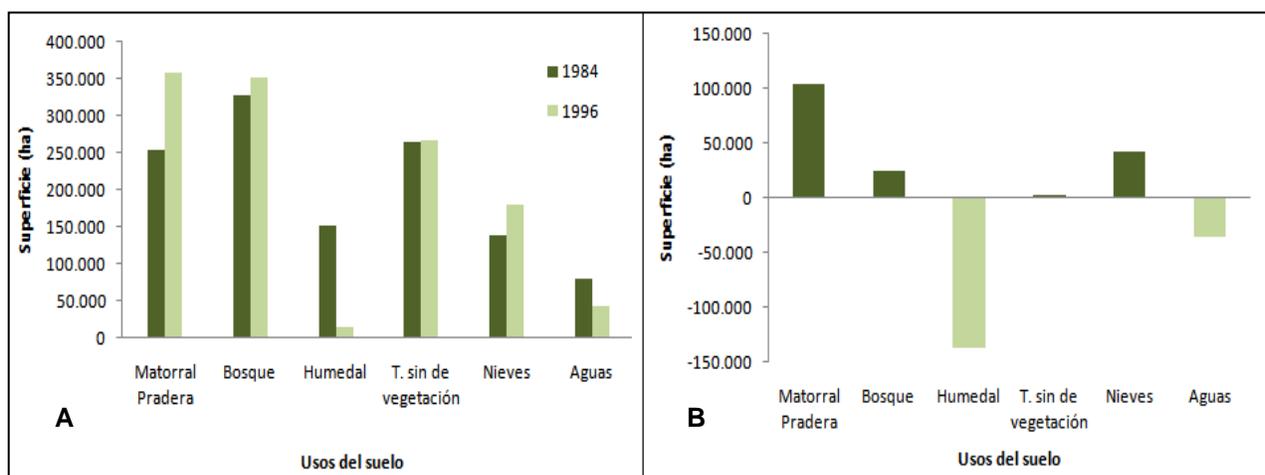


Figura 10. A) Usos del suelo período 1984 – 1996; B) Cambio en superficie, año 1996 respecto 1984

⁴ Profesionales que trabajaron en la elaboración del catastro del año 1996

Cuadro 6. Matriz cruzada en el cambio de uso entre los años 1984 y 1996 (ha.)

Uso del suelo año 1984	Uso del suelo año 1996						Total año 1984
	Matorral Pradera	Bosque	Humedal	Terrenos desprovistos de vegetación	Nieves	Aguas	
Matorral Pradera	154.578,9	51.726,2	4.367,9	37.734,2	4.208,7	2.031,7	254.647,6
Bosque	85.933,7	216.078,7	4.172,0	16.832,6	1.514,8	3.225,1	327.756,8
Humedal	75.421,5	54.103,3	5.334,0	14.000,9	1.595,2	1.935,6	152.390,5
Terrenos desprovistos de vegetación	31.934,7	20.518,9	703,1	152.120,2	56.567,0	3.353,9	265.197,7
Nieves	1.618,8	1.152,9	0	27.345,2	108.440,5	151,1	138.708,5
Aguas	8.940,0	9.265,6	907,6	19.725,1	8.041,8	33.121,7	80.001,8
Total año 1996	358.427,6	352.845,6	15.484,6	267.758,2	180.368,0	43.819,1	1.218.703,0

La categoría nieves aumentó, asumiendo que parte de la superficie de aguas, quedó en estado sólido traspasando parte de su superficie, lo que es común en la zona por las características climáticas que posee y que parte del área de estudio abarcó macizos de hielo que se ubican en occidente de la provincia (Gascón, 2005)

En cuanto al uso bosque, el crecimiento de matorrales a un estado arbóreo fue la causal que propició un mayor aumento de superficie, seguido del uso humedal, explicado anteriormente. El uso terrenos desprovistos de vegetación aportó a la expansión de superficie, pero ésta situación es considerada netamente producto de las plantaciones de especies exóticas realizadas, para de alguna manera minimizar los procesos erosivos y de desertificación de tierras (Gascón, 2005) importantes de destacar, ya que para la clasificación fueron consideradas como bosques, apareciendo en mayor medida después de la década del noventa, alrededor de la ciudad de Cochrane, observando (cuadro 6) que 20.000 ha de éste uso cedieron superficie.

En la figura 12 A, es posible observar por uso, los cambios ocurridos y las zonas en que ocurrieron estos en el período.

4.4.2 Período 1996 – 2003

Al comenzar a analizar éste período, se observa una particular tendencia: algunas impresiones en la información del catastro del año 1996. En éste período sucede lo contrario que en el período anterior. Los humedales vuelven a recuperar en forma significativa una importante cantidad de superficie, lo que vuelve a reafirmar lo difícil que es asignar a un área este uso y determinar su causal de cambio. Factores ambientales como años lluviosos o secos, problemas con el sensor, o de fotointerpretación, son algunos de los factores que se piensa puedan haber sucedido para que ocurriera esta situación, ya que en este período no se encontró en la revisión bibliográfica ningún incidente de gran escala que provocara cambios tan drásticos en un tiempo tan corto de 7 años.

En la figura 11 y el cuadro 7 es posible de observar las pérdidas y ganancias respectivas en el período.

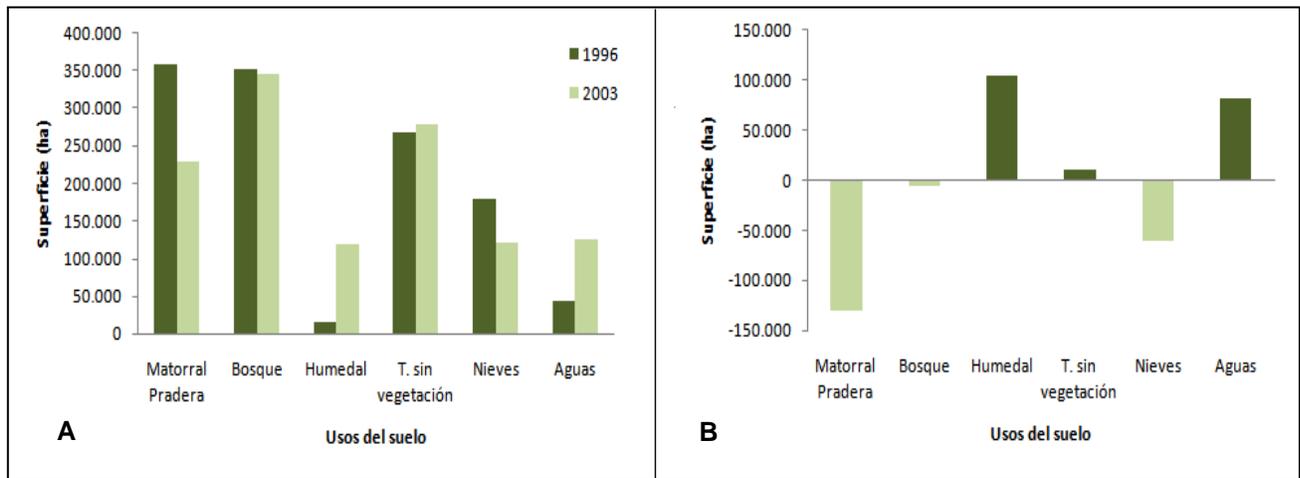


Figura 11. A) Usos del suelo período 1996 – 2003; B) Cambio en superficie año 2003 respecto 1996

Cuadro 7. Matriz cruzada en el cambio de uso entre los años 1996 y 2003 (ha.)

Uso del suelo año 1996	Uso del suelo año 2003						Total 1996
	Matorral Pradera	Bosque	Humedal	Terrenos desprovistos de vegetación	Nieves	Aguas	
Matorral Pradera	57.822,7	180.998,8	59.631,6	40.845,9	3.383,0	15.745,6	358.427,6
Bosque	141.325,9	125.150,5	36.860,1	26.720,4	3.253,3	19.535,5	352.845,6
Humedal	2.861,9	7.613,4	3.443,6	583,0	56,4	926,3	15.484,6
Terrenos desprovistos de vegetación	21.185,7	28.502,8	15.814,7	145.712,9	17.858,0	38.684,0	267.758,2
Nieves	3.249,1	1.547,2	1.845,1	61.005,7	93.469,0	19.253,0	180.368,0
Aguas	2.089,7	2.907,1	1.487,2	3.491,0	2.118,3	31.724,8	43.818,1
Total 2003	228.535,0	346.719,9	119.082,2	278.358,8	120.138,0	125.869,1	1.218.703,0

En la figura 12 B es posible visualizar las áreas que sufrieron los cambios considerando cada uno de los usos bajo evaluación.

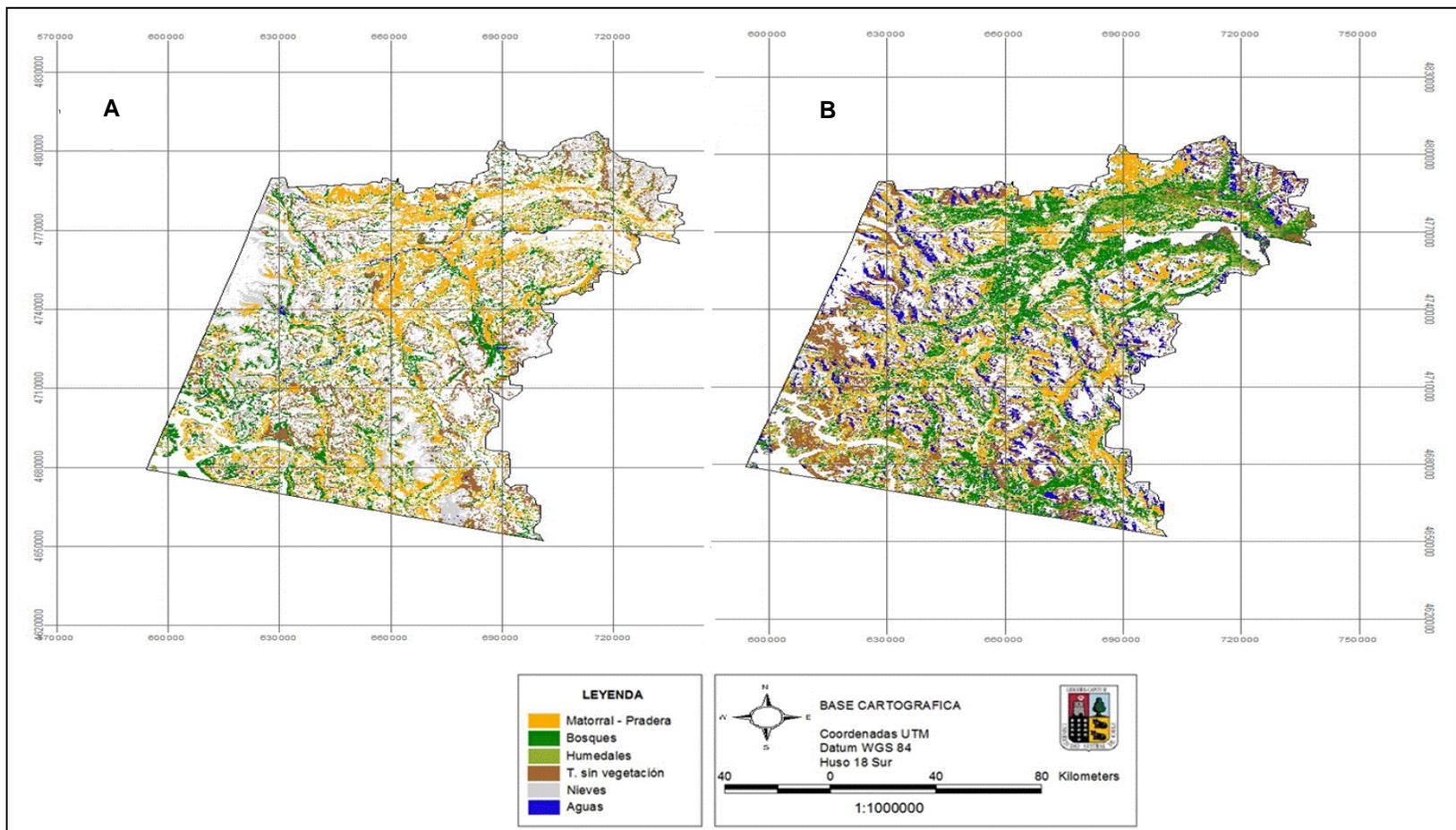


Figura 12. Mapas de superficie de cambio. A) año 1984 – 1996; B) año 1996 – 2003. En ambos casos las zonas sin color representan la superficie en que no hubo cambio de uso.

4.4.3 Período 1984 - 2003

Según el análisis efectuado en el período completo bajo estudio, evaluando sólo el material satelital, los usos que presentaron pérdidas de superficie al año 2003 corresponden a matorral- pradera, humedales y nieves (figura 13).

En el caso del uso matorral – pradera, producto del crecimiento de las especies a un estado arbóreo, el 48% de éste, se transformo al uso bosques, que es lógico de pensar al hacer la evaluación en un período de 19 años. A su vez el 20% según la clasificación realizada, pasó al uso humedal. Entre los usos matorral pradera y humedal la brecha para asignar una categoría u otra es compleja, debido principalmente a ciertas características en común entre ambos. Dentro de los humedales pueden desarrollarse especies arborescentes, que podrían clasificarse como uso 3. Ahora sí las condiciones de humedad y precipitación no varían y se mantienen entre rangos normales dentro del lugar de estudio y a pesar de que hayan individuos desarrollándose sobre ellos dado que predominan especies como helechos y sobre todo *Sphagnum* se asigna la clase humedal.

Un punto que es importante de mencionar, es que no fueron considerados los sub usos, entregados por la COT como unidades independientes de clasificación, por lo que hay que tener en cuenta que cuando se habla de matorral- pradera se engloban los sub usos respectivos como son los matorrales netamente, y los matorrales arborescentes. En el caso del uso bosques sucede lo mismo. Por eso no es extraño la expansión de superficie al año 2003, ya que la categoría renovales presenta la tendencia al aumento⁵ ya sea por crecimiento, o porque parte del bosque más adulto se pierde favoreciendo la etapa de sucesión (Donoso, 1994), que ocurre sobre todo en los bosques de *Nothofagus* presentes en la zona. Además como se mencionó con anterioridad la práctica de forestación con especies exóticas en áreas susceptibles a erosión hace presumir el aumento de superficie.

Evaluando la intervención antrópica efectuada producto de la habilitación del uso con fines agrícolas por parte de los colonos que utilizaron de mala manera el fuego, este factor provocó severos daños en los ecosistemas. De acuerdo con Donoso (2006), si bien algunas especies necesitan de éste elemento para su regeneración, la perturbación fue tal que los bosques que dominaban extensas áreas no volvieron a establecerse y si lo lograron no fue en la misma densidad y características. Romero *et al.*,(2008) considera que aquellos bosques que no han sido aún afectados por la acción humana debido a la dificultad de acceso, son considerados de vital importancia para la conservación de las especies dado el grado de pristinidad que poseen.

⁵ De acuerdo con las tendencias vistas en las actualizaciones realizadas en otras regiones del país

El uso matorral- pradera también se vio afectado más recientemente por incendios. A causa de los diferentes tipos de climas que se presentan en el área bajo estudio, este uso tiende a presentarse en mayor proporción en el norte de la provincia (figura 9 y 11) sabiendo que en estos lugares alrededor del año 2002 – 2003 sufrieron de incendios de menor escala. Esto concuerda con lo señalado por Romero *et al.*,(2008) en el sentido, que las áreas más susceptibles son aquellas cercanas a los centros poblados asociando también que al año 2003, según las cifras entregadas por el INE (2002) tras el último censo nacional y las proyecciones realizadas por este organismo muestran un aumento y tendencia al alza.

Pensando en todo el impacto al ecosistema y que se necesita de madera que es utilizada fuertemente en la zona para construcción y calefacción una opción utilizada hasta ahora es la de extraer los árboles muertos en pie según disposiciones de los planes de manejo que se presentan en CONAF, que mitigan de alguna forma la extracción deliberada de madera, sin tener en consideración los ecosistemas que se están reestableciendo y que busca mantener protegidas las zonas no intervenidas.

La construcción de la carretera Austral con el objeto de conectar por tierra las localidades más apartadas claramente tuvo efecto directo en las zonas aledañas al camino. Si bien esta no posee un ancho considerable el tránsito de vehículos pesados deterioró los suelos con material orgánico, arrastrando el material y depositándolo a orillas de camino que según Martinic (2005), cuando se presentan años con intensas precipitaciones de agua nieve, el caudal del río Baker aumenta considerablemente provocando desbordes, arrastrando parte del material del camino que queda en suspensión afectando a la vegetación menor. Por lo que el aumento de los terrenos sin vegetación concuerda con los desbordes que ocurrieron dentro del período de evaluación (figura 13).

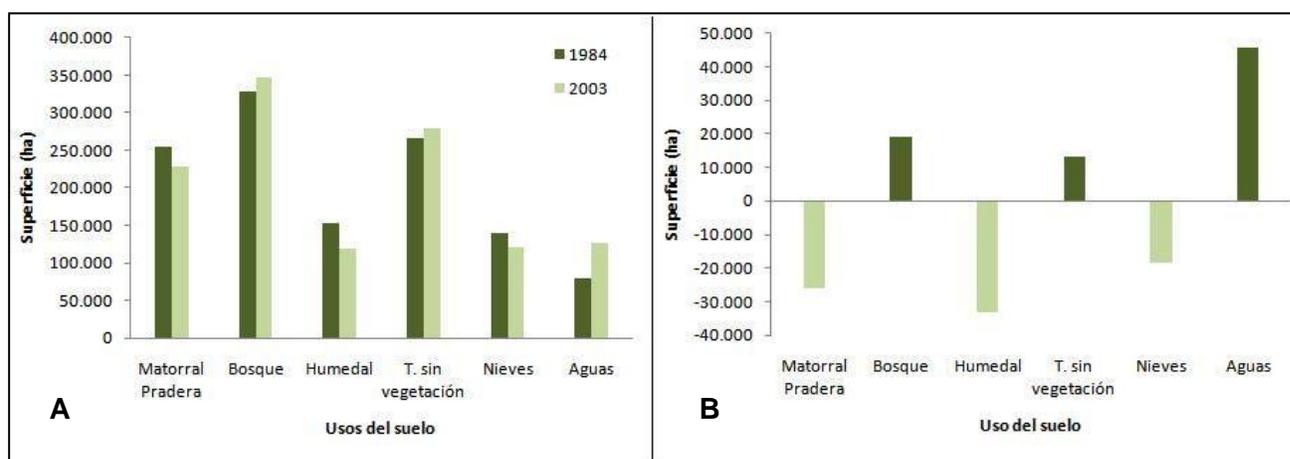


Figura 13. A) Usos del suelo período 1984 – 2003; B) Cambio en superficie año 2003 respecto 1984

Para visualizar las zonas en que se presentaron cambios dentro del período se elaboró el mapa respectivo (figura 14), en que se observa con más intensidad el cambio ocurrido en la zona norte sobre el lago Cochrane.

Cuadro 8. Matriz cruzada en el cambio de uso entre los años 1984 y 2003 (ha.)

Uso del suelo año 1984	Uso del suelo año 2003						Total 1984
	Matorral Pradera	Bosque	Humedal	Terrenos desprovistos de vegetación	Nieves	Aguas	
Matorral Pradera	37.808,8	121.731,9	50.467,9	33.625,8	2.176,7	8.836,6	254.647,6
Bosque	139.011,2	138.299,1	29.425,8	11.483,2	2.024,0	7.513,5	327.756,8
Humedal	31.905,4	70.344,9	22.982,8	12.085,6	964,3	14.107,4	152.390,5
Terrenos desprovistos de vegetación	16.490,7	12.716,1	13.754,5	175.568,7	14.597,4	32.070,4	265.197,7
Nieves	132,9	31,1	49,7	32.629,5	97.360,0	8.505,2	138.708,5
Aguas	3.185,9	3.596,8	2.401,5	12.966,0	3.015,5	54.836,1	80.001,8
Total 2003	228.534,9	346.719,9	119.082,2	278.358,8	120.138,0	125.869,1	1.218.702,9

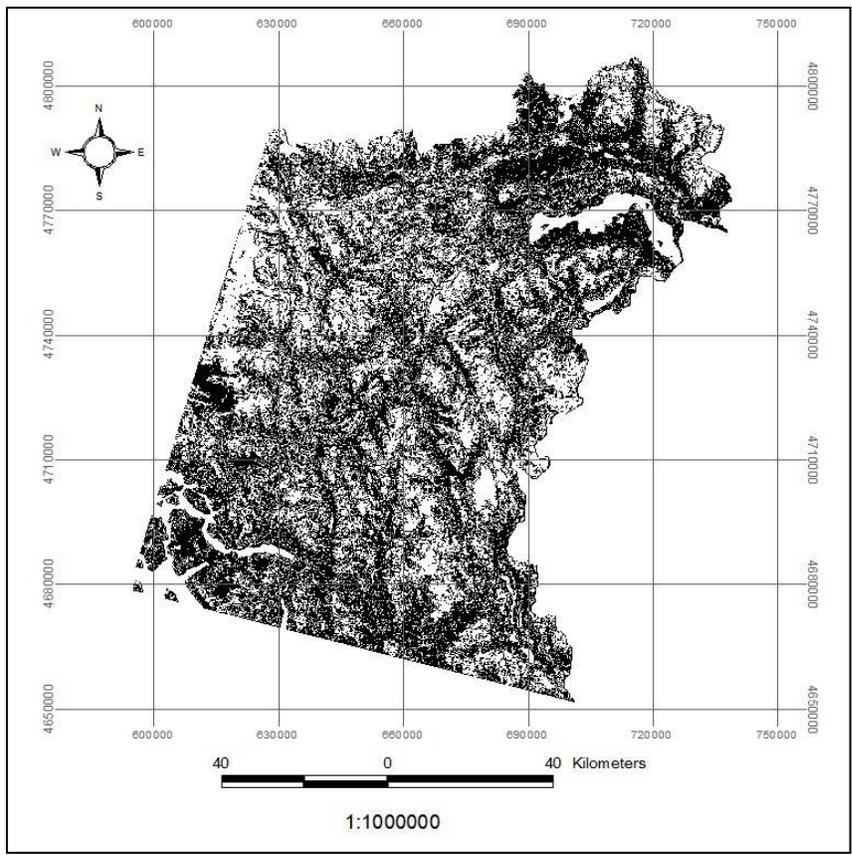


Figura 14. Mapa de cambio entre los años 1984 – 2003. Zonas en blanco no sufrieron cambio

5. CONCLUSIONES

El índice de vegetación empleado si bien entregó una visión general de las zonas en que se desarrollaba parte de la vegetación no fue del todo preciso, por lo que se recomienda la evaluación de otros índices y probar entre ellos cual se ajusta más a la situación bajo estudio.

De los usos bajo evaluación se consideraron con mayor dificultad de asignación matorral-pradera, bosques y humedales. Pensando que talvez en un futuro se pueda realizar la evaluación de dichos usos considerando la desagregación de ellos con otro tipo de imágenes que posean una mayor resolución.

La información proveniente de sensores remotos permite entregar aproximaciones bastantes concretas y acordes a la realidad teniendo en cuenta que se reconstruyen paisajes de tiempos pasados, eso sí siempre de la mano de puntos de control, que permiten conocer el área bajo estudio y observar en terreno como es la situación específica de la zona en que se pueden tener dudas. Respecto a la exactitud de la clasificación está fue considerada muy buena y permite recomendar esta metodología, entendiéndose difícil llegar a obtener un 100% de precisión post clasificación.

Al emplear la información vectorial generada por el catastro de vegetación, se constataron imprecisiones, que este estudio permite conocer, por lo que se piensa que una actualización en la zona es de vital importancia, considerando la presión que existe en la actualidad por el uso aguas, para la generación de electricidad.

En general fueron los incendios la causa antrópica con mayor impacto en el cambio de uso de suelo en la provincia. Si bien la construcción de la carretera Austral tuvo implicancias directas sobre todo en el aumento de población no puede señalarse como la de mayor importancia. Tal vez el uso de maquinaria pesada y el uso de explosivos que se desprenden de su construcción, fueron los factores más relevantes de mencionar.

Englobando toda la información que se desprendió del análisis entre períodos así como del global, se visualizan algunas tendencias. El uso bosque si bien en el pasado fue un uso que sufrió pérdidas considerables, en la actualidad, por la importancia ecológica que se le dan a los bosques de la Región, únicos en el mundo, hace que su utilización sea más racional y equilibrada, por lo que la información proporcionada por medio de las imágenes satelitales hace pensar que es la aproximación más real de la dinámica de cambio de uso de suelo en la provincia de Capitán Prat.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo *et al.*, 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 Chile de Historia Natural*. 82: 361-374.
- Altamirano, A.; Lara, A. 2010. Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro sur de Chile. *Revista Bosque*: 31(1): 53-64.
- Antes *et al.*, 2006. Detección de cambios a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales en un sector de la provincia de San Luis. INTERNET: http://www.geogra.uah.es/inicio/web_11_confibsig/PONENCIAS/Antes-Peri-Serafini.pdf
- Astorga E.; Uribe, M. 2008. De la extracción del Ciprés a la creación de un pueblo. Relato de pobladores, Caleta Tortel 2007 – 2009. Imprenta Moris. Santiago, Chile. 129 p.
- Bocco, G.; Mendoza, M. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación (Parte 1). INTERNET: <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol44/b44art2.pdf>
- Chander *et al.*, 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO -1 ALI Sensors. *Remote Sensing of Environment* 113: (893 – 903) p.
- Chavez, P.S. 1986. “Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved”. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. INTERNET: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/pdfs/L5_cal_document.pdf (Mayo 27, 2009)
- Chuvienco, E. 2002. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Tercera Edición. Ediciones Rialp S. A. Madrid, España. 568 p.
- Cifuentes, O. 2008. *Técnicas de sensoramiento para la observación de la Tierra*. Universidad de Concepción. 30 p.
- CONAF, 1999. *Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe nacional con variables ambientales*. Proyecto CONAF - CONAMA – BIRF. Universidad Austral de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica de Temuco. 89 p.
- CONAF, 2002. *Monitoreo y actualización catastro de uso del suelo y vegetación, Quinta Región*. 12 p.

- CONAF, 2010. Por publicar. Monitoreo y actualización catastro de uso del suelo y vegetación, Octava Región del Bío-Bío.
- Contreras, H. 2007. Los incendios. Cuando comenzamos a hacer mal las cosas. Patagonia chilena sin represas. INTERNET: <http://www.patagoniasinrepresas.cl/final/en-el-dia-del-libro-descarga-patagonia-sin-represas.php>
- Donoso, C. 1994. Los Bosques templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria. 488 p.
- Donoso, C. 2006. Las Especies arbóreas de los Bosques Templados de Chile y Argentina. Autoecología. Marisa Cúneo Ediciones, Valdivia, Chile. 678 p.
- Echeverría, *et al.*, 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. INTERNET: <http://stop-celco.org/rapiddeforestation.pdf>
- ENVI. 2005. User's Guide. 1.177 p.
- ESRI. 2009. Landsat 7ETM+. INTERNET: <http://www.esri-chile.com/productosSubCat.php?cat=19&subcat=24>(Abril 15, 2009).
- FAO, 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Departamento Forestal Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. INTERNET:
- Fundación Augusto Pinochet, 1997. La carretera longitudinal Austral su impacto y proyección, 350 p.
- Gascón, A. 2005. Situación forestal y biodiversidad en la Región de Áysen. Proyecto fortalecimiento ciudadano en la Región de Áysen. INTERNET: www.ecosistemas.cl/1776/articles-74102_documento_pdf.pdf
- Guhl, A. 2004. Café y cambio de paisaje en la zona cafetera colombiana entre 1970 y 1997. *Cenicafé* 55(1):29-44.2004.
- INE. 2002. Chile, estimaciones y proyecciones de población por sexo y edad. Provincias. 1990 – 2020. INTERNET: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/proyecciones/DatProv/SalProvUsuarios-T11OK.xls#T1!A51
- INE. 2007. (Instituto Nacional de Estadísticas). Región de Áysen del General Carlos Ibañez del Campo INTERNET: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/territorio/division_politico_administrativa/pdf/DPA_COMPLETA.pdf

- Jensen, J. 1996. *Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective*. 318 p.
- Lambin, E. 1997. Modelling and Monitoring land-cover change processes in tropical regions , *Progress in Physical Geography* 21,3 (1997) . 375-393 pp.
- Lillesand, *et al.*, 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Inc. 5^{ta} Edición. 748 pp.
- López, E; Bocco, G. 2001. Cambio de cobertura vegetal y uso del suelo. INTERNET: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/569/56906105.pdf>
- Martinic, M. 2005. *De la Trapananda al Áysen: una mirada reflexiva sobre el acontecer de la Región de Áysen desde la prehistoria hasta nuestros días*. Santiago, Pehuén. 539 p.
- Peña, J. 2005. Cartografía de las coberturas y usos del suelo de la Marina Baixa (Alicante) para 1956, 1978 y 2000. *Investigaciones Geográficas*, N° 37, 93 – 107 pp.
- Quintanilla, V. 2008. Estado de recuperación del bosque nativo en una cuenca nordpatagónica de Chile, perturbada por grandes fuegos acaecidos 50 años atrás (44°-45° S). *Rev. geogr. Norte Gd.* [online]. 2008, n.39, pp. 73-92. ISSN 0718-3402.
- Romero, H *et al.* 2008. Análisis crítico de las potencialidades y limitaciones para el desarrollo regional de Aysén. INTERNET: http://captura.uchile.cl/dspace/bitstream/2250/5681/1/Romero%20et%20al_Aysen_invgeo_si.pdf (Abril 29, 2009)
- Sandoval, V.; Real, P. 2005. Modelamiento y prognosis estadística y cartográfica del cambio en el uso de la tierra. *Bosque (Valdivia)*, Valdivia, v. 26, n. 1, 2005. INTERNET: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002005000100006&lng=es&nrm=iso (Mayo 17, 2009).
- Townley *et al.* 2007. Proyecto Hidroeléctrico Aysén. Línea de base del medio físico del proyecto hidroeléctrico Aysén. Resumen ejecutivo. INTERNET: http://www.hidroaysen.cl/PDF/Res_Ejecutivo_Medio_Fisico.pdf (Mayo 27, 2009)
- VanSchouwen, G. 2003. *50 años Ejército de Chile. Historia del Cuerpo Militar del Trabajo* 2003. Instituto Geográfico Militar. 2da. Edición. 327 p.

ANEXOS

Anexo 1

Abstract

ABSTRACT

We evaluated the land use change in central northern Capitán Prat Province, Region XI, for the periods 1984-1996, 1996 - 2003 and 1984 - 2003, using only the satellite material in the final period. This Landsat satellite images were used, the TM and ETM + sensors. Where were assessed seven changes of uses according to the methodology letter for the occupation of land (COT).

The procedures were performed to carry out the classification of images via supervised method. Once the classification is a matrix of confusion for the determination of post classification errors, as well as the construction of a two-way table comparing the changes of surface uses and between uses. It visited the study area where they took 115 points of control to be certain that the mapping generated fulfills its purpose.

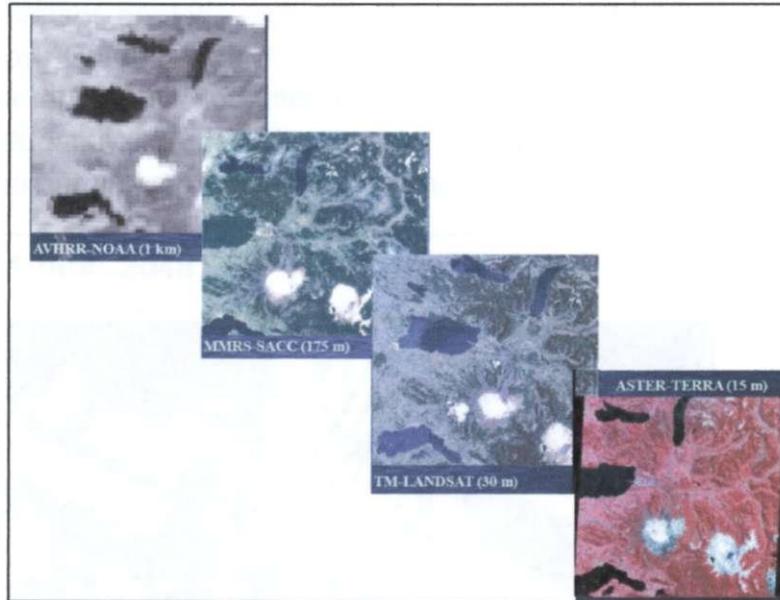
Among the results should be noted that in the first instance there is a decrease from 1984 to 2003, wetland use equivalent to 3%. The presumed causes were associated with fires caused by the settlers on arrival, which altered some of the ecosystem as fragile. Use expanded its forest area by 2%, with the use scrub - grassland which the refore had more ordered.

Key words: Land use, Landsat images, point control

Anexo 2
Tipos de resoluciones

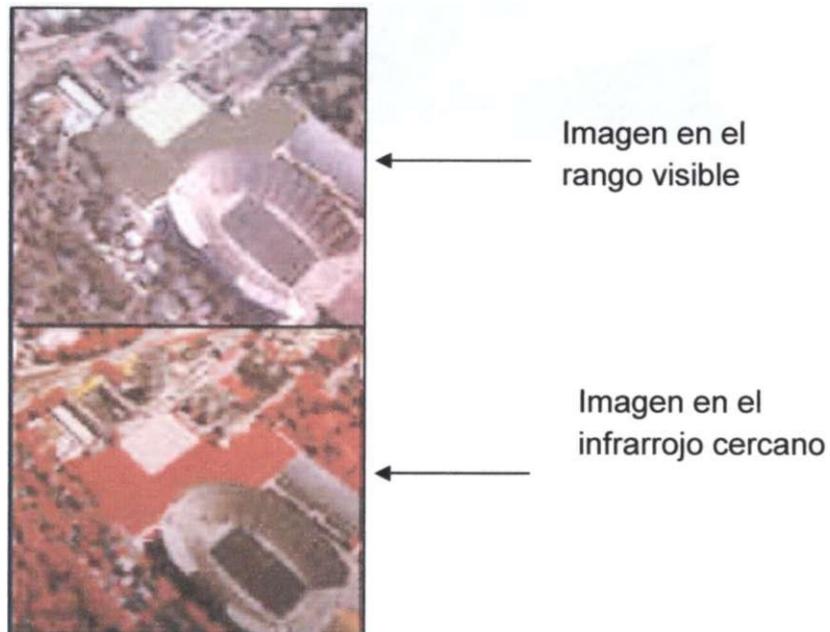
1. Resolución espacial

Corresponde al mínimo detalle espacial que capta el sensor. Es una función de la combinación del sistema óptico, el detector, el filtro y la altitud de la plataforma utilizada.



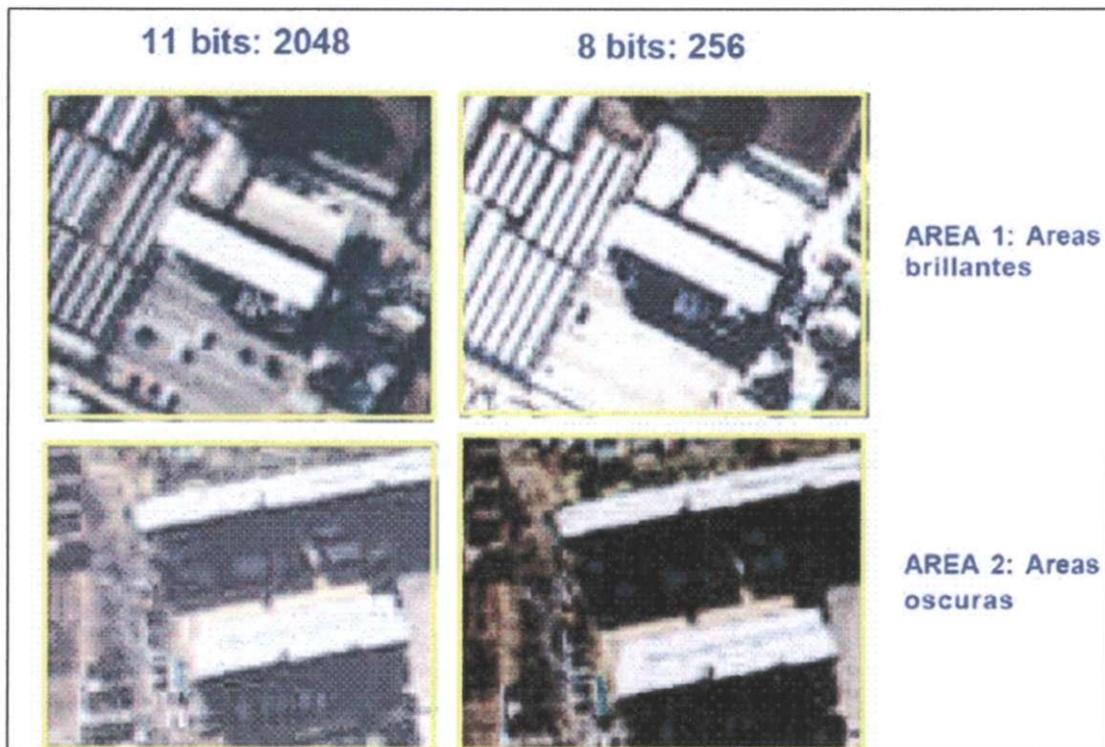
2. Resolución espectral

Se define como la cantidad y ancho de los rangos del espectro electromagnético que capta el sensor. Estos rangos reciben el nombre genérico de bandas.



3. Resolución radiométrica

Es la sensibilidad del detector para diferenciar pequeños cambios en la energía electromagnética incidente en él. Corresponde al número de niveles digitales que permite el conversor análogo-digital del sistema o posible de valores que pueden tomar los datos. Computacionalmente, esto es referido como el número de bits disponible para representar los diferentes niveles de diferencia de potencial eléctrico registrado análogamente. Así, si la energía es dividida en datos de 8 bits (1byte), éstos pueden tomar valores en la imagen entre 0 y 255.



Anexo 3

Definiciones de los usos de suelo evaluados

Categoría 3. Praderas y matorrales: Se refiere a formaciones herbáceas, arbustivas y arbustivo - herbáceas. Se subdividen de acuerdo al tipo biológico preponderante (pastos o arbustos) y sus especies dominantes.

Categoría 4. Bosques: Considera las formaciones boscosas tanto artificiales como naturales y las interacciones entre ellas.

Categoría 5. Humedales: Corresponden a extensiones de marismas, pantanos y turberas o, en general, superficies cubiertas de agua, sean éstas de caracteres naturales o artificiales, permanentes o temporales, estancados o corrientes, dulces o salobres o salados. Se incluyen las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de 6 metros. Además se incluyen en esta categoría a las vegas y bofedales debido a su hidromorfismo.

Categoría 6. Áreas desprovistas de vegetación: Se incluye en esta categoría los sectores cuya cobertura vegetal no alcanza el 25 % de cobertura mínima.

Categoría 7. Nieves eternas y glaciares: En esta categoría se incluyen zonas cubiertas por nieve, nieves eternas, glaciares y campos de hielo.

Categoría 8. Cuerpos de agua: Se incluye en esta categoría las zonas cubiertas por el mar, ríos, lagos, lagunas y embalses.

Anexo 4
Puntos de control

Poligono	nombre	Latitud	Longitud
1	001	4704321,95	608909,88
2	002	4689801,84	625034,87
3	002P	4704322,01	608909,66
4	003	4689838,53	625011,82
5	004	4690255,54	624418,49
6	005	4691027,78	624529,24
7	006	4691767,81	624977,92
8	007	4691769,06	625002,00
9	008	4694587,21	625809,97
10	009	4694633,07	625770,69
11	010	4699017,58	627000,53
12	011	4701748,39	626947,59
13	012	4703699,26	627337,99
14	013	4703683,26	627359,56
15	014	4703706,51	627302,11
16	015	4705584,10	627322,29
17	016	4706658,76	627003,50
18	017	4706884,42	625575,73
19	018	4707173,35	624986,75
20	019	4707615,20	624181,33
21	020	4707642,46	624137,51
22	021	4707905,04	623340,23
23	022	4707679,09	621973,12
24	023	4707656,92	621981,71
25	024	4707443,85	621048,96
26	025	4706994,12	620832,21
27	026	4706011,64	620987,23
28	027	4703824,48	619373,61
29	028	4703310,81	618481,12
30	029	4702510,57	616155,51
31	030	4706517,93	610219,27
32	031	4704647,75	609524,10
33	032	4707715,22	628446,93
34	033	4707694,99	628462,29
35	034	4708561,44	630884,16
36	035	4710367,21	631963,57
37	036	4712274,75	632444,35
38	037	4712308,71	632475,34
39	038	4712674,86	633327,04
40	039	4712888,85	635215,36
41	040	4714576,63	638098,01
42	041	4715952,20	640139,91
43	042	4714612,73	643264,92
44	043	4714678,27	644302,35
45	044	4715082,33	646016,11
46	045	4717808,24	649052,54
47	046	4717749,22	649066,70
48	047	4717671,73	649066,72
49	048	4717626,74	649043,78
50	049	4717554,29	649020,40
51	050	4717516,46	649027,70
52	051	4717484,36	649023,34
53	052	4717455,58	649012,36

54	053	4717418,98	648969,72
55	054	4717386,73	648958,45
56	055	4717364,89	648945,77
57	056	4717315,13	648921,17
58	057	4717265,48	648933,59
59	058	4717294,84	649006,14
60	059	4717303,64	649018,72
61	060	4717364,33	649211,17
62	061	4717268,70	649270,91
63	062	4717168,53	649266,70
64	063	4717105,14	649230,08
65	064	4717015,81	649172,01
66	065	4716909,85	649063,84
67	066	4716801,31	649025,68
68	067	4716749,00	649017,01
69	068	4716677,43	649011,57
70	069	4716539,72	649006,93
71	070	4716408,47	649047,24
72	071	4716378,08	649100,14
73	072	4716322,68	649124,79
74	073	4716197,46	649170,38
75	074	4716066,01	649203,06
76	075	4715981,04	649243,19
77	076	4715911,34	649269,28
78	077	4717433,23	644699,00
79	078	4717171,39	644629,88
80	079	4717141,68	644643,86
81	080	4716477,56	644379,62
82	081	4707622,49	628317,69
83	082	4718699,74	649824,07
84	083	4718799,60	650345,15
85	084	4718807,86	650332,47
86	085	4718971,84	651088,30
87	086	4719655,79	651786,25
88	087	4721467,64	652352,90
89	088	4722105,74	652802,31
90	089	4724681,13	656223,28
91	090	4725353,68	658322,23
92	091	4724909,51	659873,34
93	092	4727006,54	661476,75
94	093	4727102,28	661467,22
95	094	4727849,51	660796,73
96	095	4730711,74	660782,36
97	096	4732275,99	661116,27
98	097	4736534,79	658682,99
99	098	4737435,39	658612,19
100	099	4735786,09	659533,57

Anexo 5

Superficie de uso de suelo absoluta años 1984,1996, 2003

Superficie absoluta entre los años 1984 -1996

Uso actual del suelo	1984	1996	Diferencia (ha)	% (de 1984)
Matorral Pradera	254647,6	358427,6	103780,0	8,5
Bosque	327756,8	352845,6	25088,7	2,1
Humedal	152390,5	15484,6	-136905,9	-11,2
T. sin de vegetación	265197,7	267758,2	2560,4	0,2
Nieves	138708,5	180368,0	41659,5	3,4
Aguas	80001,8	43819,1	-36182,7	-3,0
Total	1218703,0	1218703,0	0	0

Superficie absoluta entre los años 1996 - 2003

Uso actual del suelo	1996	2003	Diferencia (ha)	% (de 1996)
Matorral Pradera	358427,60	228535,01	-129892,59	-10,66
Bosque	352845,58	346719,85	-6125,73	-0,50
Humedal	15484,61	119082,16	103597,55	8,50
T. sin vegetación	267758,16	278358,84	10600,68	0,87
Nieves	180367,98	120138	-60229,98	-4,94
Aguas	43819,05	125869,12	82050,07	5,88
Total	1218702,98	1218702,98	0,00	0,00

Superficie absoluta entre los años 1984 - 2003

Uso actual del suelo	1984	2003	Diferencia (ha)	% (de 1984)
Matorral Pradera	254.647,6	228.534,9	-26.112,7	-2,1
Bosque	327.756,8	346.719,9	18.963,0	1,6
Humedal	152.390,5	119.082,2	-33.308,3	-2,7
T. sin vegetación	265.197,7	278.358,8	13.161,1	1,1
Nieves	138.708,5	120.138,0	-18.570,5	-1,5
Aguas	80.001,8	125.869,1	45.867,4	3,8
Total	1.218.702,9	1.218.702,9	0,0	0,0

Anexo 6

Matriz de confusión año 1984

Matriz de confusión año 1984

Ground Truth (Pixels)					
Clase	Humedal	T. sin vegetación	Aguas	Bosques	Matorral-Pradera
No clasificado	0	0	0	0	0
Humedal	108	62	2	834	814
T. sin vegetación	0	1204	137	49	79
Aguas	5	113	5448	14	17
Bosques	16	14	0	8173	469
Matorral-Pradera	53	302	1	595	1732
Nieves	0	32	0	0	0
Total	182	1727	5588	9665	3111

Ground Truth (Pixels)		
Clase	Nieves	Total
No clasificado	0	0
Humedal	0	1820
T. sin vegetación	243	1712
Aguas	33	5630
Bosques	0	8672
Matorral-Pradera	0	2683
Nieves	3494	3526
Total	3770	24043

Ground Truth (Percent)					
Clase	Humedal	T. sin vegetación	Aguas	Bosques	Matorral-Pradera
No clasificado	0	0	0	0	0
Humedal	59,34	3,59	0,04	8,63	26,17
T. sin vegetación	0	69,72	2,45	0,51	2,54
Aguas	2,75	6,54	97,49	0,14	0,55
Bosques	8,79	0,81	0	84,56	15,08
Matorral-Pradera	29,12	17,49	0,02	6,16	55,67
Nieves	0	1,85	0	0	0
Total	100	100	100	100	100

Ground Truth (Percent)		
Clase	Nieves	Total
No clasificado	0	0
Humedal	0	7,57
T. sin vegetación	6,45	7,12
Aguas	0,88	23,42
Bosques	0	36,07
Matorral-Pradera	0	11,16
Nieves	92,68	14,67
Total	100	100

Clase	Commission	Omission	Commission	Omission
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
Humedal	94,07	40,66	1712/1820	74/182
T. sin vegetación	29,67	30,28	508/1712	523/1727
Aguas	3,23	2,51	182/5630	140/5588
Bosques	5,75	15,44	499/8672	1492/9665
Matorral-Pradera	35,45	44,33	951/2683	1379/3111
Nieves	0,91	7,32	32/3526	276/3770

Clase	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
Humedal	59,34	5,93	108/182	108/1820
T. sin vegetación	69,72	70,33	1204/1727	1204/1712
Aguas	97,49	96,77	5448/5588	5448/5630
Bosques	84,56	94,25	8173/9665	8173/8672
Matorral-Pradera	55,67	64,55	1732/3111	1732/2683
Nieves	92,68	99,09	3494/3370	3494/3526

Anexo 7

Matriz de confusión año 2003

Ground Truth (Pixels)					
Clase	Matorral - Pradera	Nieves	Bosques	T.sin vegetación	Humedales
No Clasificado	0	0	0	0	0
Matorral -Pradera	618	0	3174	17	120
Nieves	0	3519	4	81	0
Bosques	121	0	4256	14	37
T.sin vegetación	7	178	123	1254	2
Humedales	102	0	761	15	52
Aguas	5	125	152	240	0
Total	853	3822	8470	1621	211

Ground Truth (Pixels)		
Clase	Aguas	Total
No Clasificado	0	0
Matorral -Pradera	0	3929
Nieves	10	3614
Bosques	0	4428
T.sin vegetación	102	1666
Humedales	0	930
Aguas	4241	4763
Total	4353	19330

Ground Truth (Percent)					
Clase	Matorral - Pradera	Nieves	Bosques	T.sin vegetación	Humedales
No Clasificado	0	0	0	0	0
Matorral -Pradera	72,45	0	37,47	1,05	56,87
Nieves	0	92,07	0,05	5	0
Bosques	14,19	0	50,25	0,86	17,54
T.sin vegetación	0,82	4,66	1,45	77,36	0,95
Humedales	11,96	0	8,98	0,93	24,64
Aguas	0,59	3,27	1,79	14,81	0
Total	100	100	100	100	100

Ground Truth (Percent)		
Clase	Aguas	Total
No Clasificado	0	0
Matorral -Pradera	0	20,33
Nieves	0,23	18,7
Bosques	0	22,91
T.sin vegetación	2,34	8,62
Humedales	0	4,81
Aguas	97,43	24,64
Total	100	100

Clase	Commission	Omission	Commission	Omission
	(Percent)	(Pixels)	(Percent)	(Pixels)
Matorral -Pradera	84,27	27,55	3311/3929	235/853
Nieves	2,63	7,93	95/3614	303/3822
Bosques	3,88	49,75	172/4428	4214/8470
T.sin vegetación	24,73	22,64	412/1666	367/1621
Humedales	94,41	75,36	878/930	159/211
Aguas	10,96	2,57	522/4763	112/4353

Clase	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
Matorral -Pradera	72,45	15,73	618/853	618/3929
Nieves	92,07	97,37	3519/3822	3519/3614
Bosques	50,25	96,12	4256/8470	4256/4428
T.sin vegetación	77,36	75,27	1254/1621	1254/1666
Humedales	24,64	5,59	52/211	52/930
Aguas	97,43	89,04	4241/4353	4241/4763