

### Pontificia Universidad Católica de Chile Facultad de Historia, Geografía y Ciencias Políticas Programa de Magíster en Geografía y Geomática



## Fragmentación del paisaje en Valle Exploradores, Región de Aysén

Estudio temporal de la vegetación como indicador de la evolución de perturbaciones antrópicas en el periodo 1987 - 2015

Profesor Guía: Alejandro Salazar B.

Alumna: María Victoria Perry Rosas



#### **AGRADECIMIENTOS**

Esta tesis de magíster fue apoyada por: el Proyecto Fondecyt Regular N° 1191865 "Interacciones geográficas-ambientales: vinculando los sistemas socio ecológicos con la historia ambiental. Valle Exploradores, Patagonia Occidental, Región de Aysén" a cargo del Dr. Alejandro Salazar Burrows; el OHM Internacional Patagonia-Bahia Exploradores, cofinanciado por el LabEx DRIIHM, programa francés "Investissements d'Avenir" (ANR-11-LABX-0010), administrado por el ANR; y la Estación Patagonia de Investigaciones Interdisciplinarias UC (EPII UC).

Para el desarrollo de este trabajo fue indispensable la ayuda de mi Profesor Guía Alejandro Salazar Burrows, quien esperó con mucha paciencia los resultados de este estudio, mi Profesor Co-Guía Jorge Qüense, quien me ayudó a desarmar muchos nudos para terminar este gran logro. No puedo dejar de lado a Francisco de la Barrera quien me ayudó a dar una dirección a mis ideas.

Quiero agradecer también a mi pequeña red de apoyo: Tío Pato alias "Tata", Lumi, Cristina, "Abuela" María Eliana, mi hermano Claudio y por supuesto a mi compañero Pedro, sin ellos jamás podría siquiera haber iniciado el Magister. Agradezco a mis amigos, que son mi familia escogida, por el apoyo y porque siempre creyeron en mis capacidades y en el sentido de mi trabajo, que espero humildemente se transforme en un aporte al entendimiento de la naturaleza. Sé que mis padres, María y Wilfredo, estarían orgullosos de ver el camino que he recorrido. Siempre los llevo en mi corazón.

Por sobre todo agradezco a mis hijas, Amparo y Magdalena, mis pequeñitas que cuando me miran a los ojos hacen que todas las ausencias y esfuerzos valgan la pena.

Gracias.

## **INDICE**

ь	CLIN	4	·NI		c
K	ESUN				
1		IN	ITRC	DUCCIÓN	7
2		0	BJET	IVO	.10
	2.1		Obj	etivos específicos	.10
3		M	1ARC	O TEÓRICO	.11
	3.1		Pers	spectivas del concepto de paisaje	.11
	3.2		Eco	ogía del paisaje y efectos de la fragmentación	.13
	3.3		Evo	lución de los bosques y climas templados en la Región de Aysén	.15
	3.4		Hist	oria de la ocupación y uso del territorio en la Región de Aysén	.20
	3.5		Deli	mitación del área de estudio: Valle Exploradores	.22
	3.6		Uso	s de suelo en el Valle Exploradores	.24
4		M	1ATE	RIALES Y MÉTODOS	.25
	4.1		Det	erminación de unidades homogéneas en el área de estudio	.25
	4.2 198	7-2		ntificación de coberturas de suelo y cuantificación del cambio en el perio	
	4.	.2.	1	Identificación de coberturas de suelo	.26
	4.	.2.	2	Cuantificación del cambio en el periodo 1987-2015	.30
	4.3 vege	eta	•	cación de índices de fragmentación del paisaje para las coberturas con del Valle Exploradores, periodo 1987-2015.	.32
5		R	ESUL	TADOS Y DISCUSIÓN	.34
	5.1		Dist	ribución de la vegetación en el área de estudio	.34
	5.2 suel	lo (		ntificación de clases y cuantificación del cambio en las clases de usos de vegetación en Valle Exploradores	.41
	5.3			uación de la fragmentación del paisaje en base a las coberturas de	
	veg	eta	aciór		.45
	5.	.3.	1	Clase Bosque	.46
	5.	.3.	2	Clase Matorral	.49

5.3.3 Clase Herbazal	52
6 CONCLUSIONES	57
7 REFERENCIAS	60
8 ANEXOS	66
8.1 ANEXO 1. Matrices de confusión (ENVI 5.3)	66
8.2 ANEXO 2. Matrices de cambio (IDRISI 17.0 Ed. Selva)	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Índice de Figuras	
Figura 1: Línea de tiempo de hitos importantes en la ocupación y procesos de Valle Exploradores	
Figura 2: Área de estudio Valle Exploradores: corredor Puerto Tranquilo – Bah	ía
Exploradores.	
Figura 3: Sectores del área de estudio	
Figura 4: Formaciones vegetacionales del área de estudio según Gajardo (1993) Figura 5: Distribución espacial de las formaciones vegetacionales según Gajardo	do (1993).
Figura 6: Pisos vegetacionales del área de estudio según Luebert & Pliscoff (20 Figura 7: Distribución espacial de los pisos vegetacionales según Luebert & Plis (2018).	18)36 scoff
Figura 8: Clasificación supervisada para las imágenes A) 1987, B) 1999, C) 2011	L y D)
Figura 9: Proporcionalidad de clases de las matrices de cambio por año Figura 10: Índice de diversidad de Shannon (SDI) para el área de estudio y sect	43 ores por
Figura 11: Número de parches y área promedio de los parches de la clase Boso sector	-
Figura 12: Número de parches y área promedio de los parches de la clase Mat sector	•
Figura 13: Número de parches y área promedio de los parches de la clase Herb sector	•
Figura 14: Cambios de coberturas de Bosque y Matorral a Herbazal sobre y ba	
msnm	56

## Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación de usos de la tierra o usos de suelo	26
Tabla 2: Imágenes Landsat para la elaboración de la clasificación supervisada	28
Tabla 3: Clases definidas en el área de estudio	29
Tabla 4: Tabla multitemporal esquemática de cambios o matriz de cambios	31
Tabla 5: Tabla resumen de métricas del paisaje para el análisis de fragmentación a	
escala de paisaje y clases	32
Tabla 6: Características de las especies dominantes del Valle Exploradores	39
Tabla 7: Índice Kappa y precisión global de áreas de entrenamiento respecto de la	
clasificación supervisada de cada imagen	41
Tabla 8: Superficies y tasa de cambio de las clases Bosque, Matorral y Herbazal por a	∍ño
	44
Tabla 9: índices de paisaje de la clase Bosque por sector y por año	47
Tabla 10: índices de paisaje de la clase Matorral por sector y por año	50
Tabla 11: índices de paisaje de la clase Herbazal por sector y por año	53
Tabla 12: Cambios de coberturas de Bosque y Matorral a Herbazal, periodo 1987 - 2	015
	56

#### **RESUMEN**

Desde el punto de vista ecológico y cognitivo, el paisaje es un sistema dinámico que representa el contexto biótico y abiótico donde viven los organismos, y la cubierta vegetal es el diseño principal en que éstos encuentran su hábitat. Entre los procesos que actúan en un paisaje, la fragmentación se reconoce como uno de los cambios antropogénicos más significativos a nivel global, contribuyendo sustancialmente a la pérdida de biodiversidad, reduciendo grandes extensiones de bosque, y a la alteración de procesos ecosistémicos clave. En efecto, los bosques templados de Chile no se encuentran ajenos a estos procesos, ya que nuestro país posee el área de bosques templados más grandes de Sudamérica y más de la mitad del área total de bosques templados en el hemisferio sur, siendo clasificado como un Hotspot para la conservación. Tal es el caso del "Valle Exploradores", área en que se realizó el análisis temporal y de métricas de paisaje de las coberturas o clases dominantes: Bosque, Matorral y Herbazal, en base a la clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat 5 (1987 y 1999), 7 (2011) y 8 (2015), en que, si bien se observa una recuperación del Bosque y una disminución de áreas de Matorral, la clase Herbazal aumentó su superficie y número de parches en un 73%, en sectores antes ocupados por Tepu (Tepualia stipularis), Canelo (Drimys winteri) y Ciprés de las Guaitecas (Pilgerodendron uviferum), y el mayor cambio de cobertura de Bosque a Herbazal ocurre bajo los 250 msnm, donde existe mayor accesibilidad.

#### 1 INTRODUCCIÓN

Paisaje "es una porción del territorio que percibimos a nuestro alrededor, sin mirar los componentes individuales, y que nos resulta familiar" (Haber, 2004). Así, el paisaje se convierte también en una entidad percibida por todos los organismos, considerando la distribución espacial de patrones y procesos necesarios para el funcionamiento individual, grupal y ecosistémico desde la perspectiva del observador, el cual es también la porción del mundo real percibido por las personas mediante un mecanismo de filtro cultural y se configura como una memoria temporal desde lo aprendido a través de la experiencia (Farina, 2006).

En este contexto, la disciplina de la ecología del paisaje es la visión holística de la realidad que intenta integrar al máximo su extremada y dinámica complejidad, constituyéndose como una perspectiva de síntesis fundamentada esencialmente en la incorporación, por una parte, de la interpretación de la heterogeneidad horizontal, un enfoque propio de la geografía que centra su atención en la distribución de los paisajes a lo largo del territorio; y por otra parte, del análisis de la heterogeneidad vertical, una perspectiva propia de la ecología, que hace énfasis en la interrelación entre los distintos elementos bióticos y abióticos en una porción determinada del paisaje (Vila *et al*, 2006).

Históricamente, esta disciplina se ha ocupado del estudio de los ecosistemas modificados por efectos antrópicos, debido a la gran extensión de la distribución de la población humana en el planeta. Sin embargo, una amplia gama de procesos ecológicos en áreas prístinas o poco modificadas también se podrían abordar de manera eficiente utilizando los principios de ecología del paisaje (Farina, 2006).

Se considera el paisaje además como un sistema dinámico de la superficie terrestre, en que la inestabilidad crea mosaicos sensibles, sobre todo a grandes escalas, donde el sistema en su totalidad puede reaccionar abruptamente a través de cambios rápidos e irreversibles debido a perturbaciones (Thomas, 2001). Entre la gran cantidad de procesos que actúan en un paisaje, los más importantes y generalizados, y sobre los cuales se ha



obtenido suficiente información, son: disturbio, fragmentación, conectividad y corredores de conectividad, y flujo de agua y nutrientes (Farina, 2006).

El presente estudio aborda específicamente la fragmentación, proceso que puede ser considerado como una imagen negativa de la conectividad y que tiene una fuerte influencia sobre las dinámicas y el destino de la materia y energía moviéndose a través de un paisaje (Farina, 2006).

La fragmentación del hábitat ha sido reconocida como uno de los cambios antropogénicos más significativos para los paisajes a nivel global, ya que está contribuyendo sustancialmente a la pérdida de biodiversidad, reduciendo grandes extensiones de bosque, y a la alteración de procesos ecosistémicos clave, no solamente en Chile sino en todo el mundo (Wade et al., 2003; Lindenmayer, 2006). En consecuencia, el conocimiento del estado de transformación de un paisaje es un antecedente crucial para una adecuada planificación, manejo y restauración del paisaje, ya que indican el grado de integridad o funcionalidad de estos y los principales atributos que requieren ser mantenidos o mejorados para la conservación de la biodiversidad y el bienestar humano (Liu & Taylor, 2002; Otavo & Echeverría, 2017).

La fragmentación consiste en tres fenómenos que se producen paralelamente: i) división del hábitat en porciones menores y discontinuas, ii) disminución del tamaño de los hábitats remanentes y iii) aislamiento progresivo de los parches dentro de una matriz generalmente hostil, lo último debido al alto contraste, en términos de su composición o estructura, entre los fragmentos y el paisaje circundante que representa la matriz (Bizama *et al.*, 2011). Como consecuencia, este aislamiento geográfico deriva en que la probabilidad de recolonización depende fuertemente de la distancia de los fragmentos del área núcleo y de la calidad del hábitat circundante (Farina, 2006).

Existen diversas causas que dan origen a la fragmentación, entre las que se encuentran las de origen natural, sin embargo, como lo señalan Bustamante y Grez (1995) "los científicos han llegado a un consenso, determinando que el principal agente

perturbador es el hombre" (Bustamante & Grez, 1995; Bizama et al, 2011). En el futuro, el cambio de uso del suelo es el factor que se espera tenga el impacto global más importante sobre la biodiversidad al año 2100, principalmente, debido a sus devastadores efectos sobre la disponibilidad de hábitat y extinción de especies. Se estima que durante el último siglo, la mayor parte de los ecosistemas mundiales fueron afectados por el cambio de uso de la tierra y que la mayoría de los impactos se han producido por la pérdida y/o transformación de ecosistemas boscosos y praderas naturales en terrenos habilitados para el desarrollo agrícola, ganadero, forestal y urbano/industrial (Aguayo, Pauchard, & Parra, 2009).

En este contexto, los bosques templados de Chile no se encuentran ajenos a las perturbaciones antrópicas que también causan la fragmentación (Aguayo, Pauchard, & Parra, 2009). Chile posee el área de bosques templados más grandes de Sudamérica, y más de la mitad del área total de bosques templados en el hemisferio sur (Donoso, 1993). La mayor parte de estos bosques se ubican en forma contínua entre el Río Maule (35° S) y Tierra del Fuego (55°S), aunque en la actualidad dichas formaciones vegetales se encontrarían de forma cada vez más intermitente (Armesto & León, 1997). Este bioma ha sido clasificado como un *Hotspot* para la conservación, debido a su alta diversidad biológica y endemismo (Bizama *et al.*, 2011; Echeverría *et al.*, 2006 y 2012).

Actualmente el área de los bosques templados chilenos se ha reducido en una magnitud similar a la disminución experimentada durante la última edad glacial, debido al impacto humano ocurrido en los últimos 200 años (Armesto, Villagrán, & Donoso, 1994). Dentro de las principales causas de la disminución y/o destrucción del bosque nativo está la producción de leña y carbón, producción de chips y reemplazo de este bosque por plantaciones forestales (Simonetti & Armesto, 1991). Los incendios forestales de origen humano así como la sustitución del bosque por praderas han sido otros factores que han incidido fuertemente en la pérdida de este tipo de cobertura vegetal (Lara, Cortés, & Echeverría, 2000).

Tal es el caso de los bosques templados en la región de Aysén y, específicamente, del área de estudio "Valle Exploradores", sector donde la última descripción sintética del paisaje fue realizada por el explorador y geógrafo Augusto Grosse en 1955. Por este motivo, este corredor se convierte en un sector donde es relevante actualizar la información sobre las coberturas de suelo, principalmente de vegetación, ya que el año 2011 se terminó la construcción del camino de 100 km desde Puerto Tranquilo a Bahía Exploradores, con la finalidad de conectar a los habitantes de ambas localidades y potenciar la actividad turística en el sector de la Laguna San Rafael, ubicada dentro del Parque Nacional San Rafael (Gobierno de Chile, 2014). En la actualidad se cuenta con la construcción de la Pasarela Exploradores terminada, que favorecerá el desarrollo turístico del sector (Ministerio de Obras Públicas Región de Aysén, 2018). De esta forma, este corredor aumentaría su exposición a actividades turísticas, que es la vocación de la Región de Aysén (Sandoval, 2012), lo que hace indispensable generar un conocimiento integral del territorio con el fin de proyectar su uso de manera sustentable.

#### 2 OBJETIVO

Determinar el estado de la fragmentación del paisaje en el Valle Exploradores en base al análisis de cambio de las coberturas de suelo, principalmente en la cobertura de vegetación como indicadora de la evolución de perturbaciones antrópicas, en el periodo 1987 - 2015.

#### 2.1 Objetivos específicos

- Caracterizar la distribución de la vegetación en el área de estudio de Valle Exploradores.
- Identificar las coberturas de suelo y cuantificar el cambio en el Valle Exploradores, periodo 1987-2015.

Aplicar índices de fragmentación del paisaje en las coberturas de vegetación del Valle
 Exploradores, en el periodo 1987-2015.

#### 3 MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Perspectivas del concepto de paisaje

El paisaje puede ser considerado una entidad material y no-material en que sus propiedades conceptuales están integradas en las propiedades físicas. Así, los componentes materiales están representados por el contexto físico de los organismos y sus agrupaciones, y los componentes no-materiales se expresan mediante la información, apareciendo en distintos niveles de organización (Stonier, 1996; Farina, 2006).

Complementariamente, es posible considerar al paisaje desde al menos tres aproximaciones: i) el paisaje como dominio, donde el dominio es el campo de existencia de todos los procesos y patrones relacionados de componentes físicos y conceptuales (Farina, 2004), ii) el paisaje como sistema, como un sistema de elementos conectados unos a otros mediante energía, materia e información en un contexto geográfico particular (Farina, 2006), y iii) el paisaje como unidad, en referencia a una unidad que se distingue del ambiente, con bordes definidos, que tiene una función distinta dentro de la matriz o mosaico de paisajes distintos y es una unidad que se distingue por su organización y no por las propiedades de sus componentes (Maturana, 1999).

El paisaje también puede ser descrito desde una visión "ecológica" y "cognitiva". El paisaje ecológico representa el contexto biótico y abiótico en que los organismos viven y que éste existe para todos los organismos; en este paisaje la cubierta vegetal es el diseño principal y la plantilla sobre la cual otros organismos encuentran su hábitat. En tanto, la descripción del paisaje cognitivo se basa en los patrones y procesos que los humanos y otros sensores pueden percibir de su entorno, que para ese organismo es el mundo. Acorde con esta visión, un organismo puede percibir tres tipos de entorno: i)

paisaje basado en la neutralidad, cuando el ruido de fondo no puede ser individualizado por los sensores, ii) el paisaje basado en individuos, que es parte de un entorno que los organismos decodifican utilizando sensores somáticos incluyendo mecanismos cognitivos derivados de mecanismos de adaptación evolutivos; y iii) el paisaje basado en observadores, que es la porción del mundo real percibido por las personas mediante un mecanismo de filtro cultural y se configura como una memoria temporal desde lo aprendido a través de la experiencia y que no sobrepasa la muerte del organismo (Farina, 2006).

Así, desde la perspectiva humana, el paisaje es desagregado y agrupado de nuevo según las entidades funcionales que tienen un significado para la vida humana (Nassauer, 1995). En tanto, desde la perspectiva geobotánica, la distribución en el espacio de los componentes abióticos y bióticos del ambiente desde el paisaje suelo hasta el paisaje "percibido" por las plantas, se relaciona en un amplio sentido como el rango de la sensibilidad de los requerimientos para la vida de la planta y su capacidad de incorporar información del ambiente circundante, lo que está en directa conexión con la adaptación, colonización y supervivencia a estrés de origen natural y antrópico (Farina, 2006).

Si bien el paisaje que se tiene ante los ojos representa un momento o una visión instantánea, es imposible quedarse en el análisis del paisaje presente y no considerar su evolución histórica, ya que todos los paisajes, por poco tiempo que haya transcurrido desde su formación, presentarán herencias del pasado, es decir, de paisajes que han correspondido a otros geosistemas<sup>1</sup> con climas y funcionamientos diferentes de los actuales. De este modo, se debe conocer tanto la evolución pasada del paisaje para comprender el paisaje actual, como su profundidad intrínseca para predecir su evolución futura (Bolós, 1992), escenarios que, en el presente caso de estudio, son estimados a

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Concepto definido por el geógrafo soviético Sochava en 1963, el que se refiera a un modelo teórico del paisaje que incluye el subsistema abiótico, biótico y el subsistema organizado por el hombre (Bolós, 1992).

partir de los cambios del uso del suelo en relación a la cobertura de bosque nativo, basado en estudios recientes que han documentado la importancia del uso histórico de la tierra como explicación de los ecosistemas y los paisajes contemporáneos, y la importancia de medir la persistencia de los efectos de esos usos históricos (Turner & Cardille, 2007).

#### 3.2 Ecología del paisaje y efectos de la fragmentación

La ecología del paisaje involucra el estudio de las interacciones y dinámicas entre los distintos elementos que conforman el paisaje. Esta disciplina se enfoca en tres aspectos: a) estructura, referida al arreglo espacial de las distintas unidades de ecosistemas o elementos del paisaje; b) función, dada por las interacciones entre elementos espaciales, y c) cambio, entendido como las alteraciones en la estructura y el funcionamiento de las unidades en el tiempo. Como subdisciplina de la ecología, la ecología del paisaje estudia cómo la estructura del paisaje afecta la abundancia y distribución de los organismos. En términos estadísticos, la variable "respuesta" en ecología del paisaje son abundancia, distribución y proceso, mientras que las "predictoras" son variables que describen la estructura del paisaje, incluidos efectos indirectos como los efectos de procesos bióticos (p.e., hervivoría) (Pauchard, Aguayo & Alaback, 2006).

Estas estructuras y patrones implican heterogeneidad espacial, incluyendo dos componentes: el número de diferentes entidades posibles (p.e., diferentes tipos de hábitat) o "composición" y sus disposiciones espaciales "configuración" (Fahrig, 2005). Complementariamente, la variable respuesta debe compararse con diferentes paisajes que tienen estructuras diferentes, cada dato en un estudio a escala de paisaje es un paisaje único, considerando además que la fragmentación es un proceso dependiente de la escala del estudio (Farina, 2006). Una evaluación completa comprende varios paisajes que no se solapan y que tienen estructuras diferentes. Por lo tanto, un estudio a escala de paisaje tiene los siguientes atributos: (1) puntos en el estudio que representan un paisaje individual o una unidad de paisaje observada; y (2) el tamaño del



paisaje depende de la escala a la que responde la variable respuesta a la estructura del paisaje, lo que depende de la escala a la que el organismo en estudio se mueve o existe en el paisaje o de la escala del proceso de interés (Fahrig, 2005).

La heterogeneidad del paisaje deriva de la estructura abiótica, incluyendo factores tales como el clima, la topografía y el sustrato; y de las variaciones de los procesos ecosistémicos provenientes del conjunto biótico, eventos de perturbación (incluyendo legados a largo plazo) y la actividad antrópica (Turner & Cardille, 2007).

En este sentido, la fragmentación del hábitat es considerada uno de los impactos más profundos de la actividad humana sobre los procesos ecológicos a escala de paisaje, estudios que han ido evolucionando en función del desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). La mayoría de los esfuerzos cuantitativos para describir espacialmente la fragmentación del hábitat suponen un modelo simplificado de paisaje, donde los fragmentos remanentes son hábitats adecuados para las especies que originalmente ocupaban el hábitat continuo, mientras que la matriz que rodea los fragmentos es completamente hostil para éstas. Estos modelos de paisaje permiten explorar las consecuencias de la fragmentación al comparar el comportamiento de una especie en diferentes escenarios de paisajes fragmentados, y de esta forma, estos modelos permiten entender y explorar los posibles efectos de la fragmentación del paisaje (Pauchard, Aguayo, & Alaback, 2006).

Contraria a la fragmentación, la conectividad del paisaje es necesaria para sostener y mantener la estabilidad de los procesos ecológicos que se encuentran relacionados entre sí, como la dispersión, el flujo genético entre poblaciones aisladas, la migración y a largo plazo la evolución de las especies. Así, el mantenimiento de la conectividad se convierte en una condición clave para la persistencia de la biodiversidad y requisito ecológico indispensable en las prácticas adecuadas de conservación y planificación del territorio (Laita, Kotiaho, & Monkkonen, 2011).

De acuerdo con Pauchard, Aguayo & Alaback (2006), si entendemos el paisaje como un mosaico discreto de parches, las medidas de composición están asociadas con la diversidad y abundancia de tipos de parches que componen el paisaje, sin considerar su ubicación o distribución espacial en el mosaico. La composición requiere la integración de todos los tipos de parches, estas medidas sólo son aplicables a nivel de paisaje.

En Chile el uso de las métricas de paisaje en ecología o conservación se convierte hoy en una creciente gama de oportunidades para el conocimiento y manejo de ecosistemas naturales (CONAF/UACh, 2012). Para esto se hace necesario avanzar tanto en el desarrollo de modelos espaciales a escala de paisaje, como en el estudio de los fenómenos biológicos que ocurren a esta escala (Pauchard, Aguayo & Alaback, 2006), considerando que los efectos de la fragmentación a nivel de paisaje son la reducción de tamaño y calidad del hábitat boscoso, el aumento de borde y número de parches, y la pérdida de conectividad (Forman & Godron, 1986; Lindenmayer & Fischer, 2006).

Los fragmentos boscosos pueden llegar a tener bordes suaves o abruptos, dependiendo del grado de contraste entre hábitats, lo cual desempeña un papel crítico en la capacidad de las especies de adaptarse y moverse dentro de hábitats perturbados, la capacidad de recuperación del bosque y la penetración de los efectos de borde que originan un deterioro en la calidad del hábitat en regresión (Lindenmayer & Fischer, 2006; Peyras *et al.*, 2013). La reducción del tamaño de los fragmentos boscosos genera cambios en la composición y estructura a nivel de comunidades (Echeverría *et al.*, 2007), modificando las dinámicas poblacionales y diversos procesos ecológicos (Wiegand *et al.*, 2005) que, junto al aislamiento y la disminución de la conectividad funcional, tienen efectos negativos sobre la persistencia de poblaciones de especies (Lindenmayer & Fischer, 2006; Otavo & Echeverría, 2017).

#### 3.3 Evolución de los bosques y climas templados en la Región de Aysén

De acuerdo con Donoso (1993), es importante incorporar en conocimiento de la historia de los bosques templados basada en los antecedentes existentes sobre las edades glaciales, interglaciales, en el postglacial y en las evidencias palinológicas, porque ello representa los cambios en la vegetación que ocurren a escala geológica, o bien, en lapsos de varios siglos o milenios. Estos cambios implican en general, variaciones climáticas, geológicas, edáficas y medioambientales en general, que determinan la desaparición de la vegetación en algunas áreas y la emergencia u ocurrencia de áreas desnudas donde debe iniciarse un proceso sucesional.

En el análisis realizado por Corvalán (1965) y Torres (1985 en Donoso, 1993) correspondiente a la era del Cenozoico<sup>2</sup>, la depresión intermedia se presenta muy clara en el territorio de los bosques templados, a partir de los 33° S y es reconocible hasta los 47° S, al igual que la Cordillera de la Costa, y es también cuando ocurre la primera gran glaciación (en el periodo Terciario), y luego, entre 2,1 hasta 1 millón de años AP, ocurren varias glaciaciones, al igual que en el Cuaternario. En este contexto, se formaron los rasgos morfológicos del territorio chileno ocupado por estos bosques, producto del fuerte tectonismo ocurrido en el Terciario sobre una planicie peniplanizada cubierta de volcanes (Corvalán, 1965). Este tectonismo consistió en el levantamiento diferencial de bloques a lo largo de grandes fallas, lo que originó los rasgos característicos de la Cordillera de la Costa y la Depresión Intermedia o Valle Longitudinal, que se presenta cubierto de profundos sedimentos fluviales, corrientes de barro, glaciales y fluvioglaciales y gran parte de él está hundido en el mar en su área sur. En tanto la Cordillera de Los Andes es continua hasta el extremo sur (Cabo de Hornos (56°S), alcanzando alturas de 6.500 msnm en los 33°S, disminuyendo a 2.500 msnm en los 42°S. En toda su extensión es posible encontrar material de roca granítica y material volcánico andesítico y basáltico, además de sedimentos glaciales que, junto al volcanismo y tectonismo, fueron los elementos determinantes del modelado de la fisiografía de este territorio. La Cordillera de la Costa alcanza los 2.000 msnm entre los 33°S y 36°S, y hacia las vertientes occidentales se hace más suave; está cubierta por rocas metamórficas y

-

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> El período de estudio se extiende entre los 63 millones de años antes del presente (AP) y los tiempos actuales, correspondiendo a los periodos Terciario y Cuaternario.



granodioríticas en algunos sectores (Paskoff, 1970) y sedimentos marinos en terrazas costeras.

Así, durante la última glaciación antes de 56.000 años AP, los glaciares eran más extensivos, ocupando enormes superficies, con periodos de pequeños y sucesivos de avances y retrocesos. Después (13.000 años AP), los hielos retrocedieron rápidamente y llegaron a los bordes o límites actuales alrededor de 11.000 años AP. Posteriormente, en el Holoceno o Tardiglacial, se produjeron nuevos pequeños avances, que culminaron en uno final durante los últimos tres siglos (Mercer, 1976), quedando dentro de los límites actuales. Hacia el sur de Chiloé, durante la última glaciación, todo el territorio chileno habría estado cubierto por hielo. Entre Aysén y Magallanes, gran parte del territorio estuvo cubierto por grandes masas de hielo que dan origen a numerosos glaciares que llegan a los canales chilenos o a lagos. Al norte de esta zona es posible observar una muestra de aquello: Campos de Hielo Monte San Valentín (44° a 47°S), que da origen a varios glaciares, entre ellos al Ventisquero San Rafael.

En términos climáticos, las extremadamente bajas temperaturas del Polo Sur y del continente antártico en general, crean un fuerte gradiente de temperaturas entre el Ecuador y el Polo, que regula la circulación atmosférica general del hemisferio sur. Como resultado de este gradiente, adquiere gran potencia el sistema de vientos del suroeste, el cual determina los temporales y altas precipitaciones del sur de Chile. Durante los milenios pasados este sistema se ha visto sucesivamente forzado y debilitado, siendo así el factor principal que ha determinado la dinámica de los glaciares y capas de hielo. Esto, a su vez, ha sido el determinante de las migraciones, cambios y distribución que ha tenido la vegetación durante esos milenios (Heusser, 1974).

La región de los canales no habría estado cubierta enteramente de hielo hace 13.000 años (Ashworth *et al.*, 1991). La vegetación que invadió los terrenos deglaciados correspondió a un campo de *Empetrum*, en el que bosquetes de *Nothofagus* estaban restringidos a sitios protegidos, entonces con un clima más ventoso y probablemente

más seco que el actual. De 13.000 a 9.500 años AP, el bosque de Nothofagus se expandió, posiblemente en respuesta a menos viento y más humedad disponible. Desde 9.500 a 5.500 años AP el clima fue tan húmedo como el del momento presente, evidenciado por la alta presencia de plantas de mallines norpatagónicos y escarabajos acuáticos. Desde 5.500 a 3.000 años AP el clima fue más seco, como lo indica la expansión de los campos de Empetrum y su reducción a hábitats mésicos<sup>3</sup>. Desde 3.000 años AP hasta hoy los hábitats mésicos dominaron a medida que el clima volvía a ser más húmedo. Las especies leñosas que han tenido predominancia a lo largo de esta historia de fluctuaciones entre episodios más húmedos y más secos han sido Nothofagus antárctica (Ñirre), N. betuloides (Coigüe de Magallanes), Pilgerodendron uviferum (Ciprés de las Guaitecas), Drimys winteri (Canelo), Podocarpus nubigena (Mañío macho o de hojas punzantes), Desfontainea spinosa (Taique), Escallonia alpina (Ñipa), Dacrydium fonkii (Ciprés enano), Tepualia stipularis (Tepú), Empetrum nigrum (Émpetro o Murtilla) y Myrtáceas. En los tiempos actuales se encuentran también Weinmannia trichosperma (Tineo), Pseudopanax laetevirens (Traumén o Sauco del diablo) y Embothrium coccineum (Notro o Ciruelillo), entre otras (Donoso, 1993).

Ya en 1955, Augusto Grosse describe su visión de la entonces Provincia de Aisén, dividiéndola en cuatro zonas muy distintas: (1) Zona occidental de los canales e islas, desde el Golfo del Corcovado hasta la Península del Taitao, al norte del Golfo de Penas, zona azotada por lluvias y tempestades, donde abundan los bosques de Ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin), aunque sobreexplotados en sectores septentrionales, mediante el hacha, el fuego y la explotación de renovales. (2) Zona de la selva pluvial, desde el mar insular se eleva el continente dando paso a amplios estuarios que llegan a la Cordilera de Los Andes. Domina ahí una selva virgen, siempre verde, hasta los 1.000 m, luego aparecen las nieves eternas. El promedio anual de lluvias es de 3.000 a 4.000 mm. Es una zona sometida en menor escala al roce para habilitar

-

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Mésico: se refiere a condiciones medioambientales intermedias en cuanto a abastecimiento de humedad (Donoso, 2006).

terrenos. (3) Zona del Parque, el promedio anual de lluvias es de 1.500 mm, de un paisaje dominado por bosques caducifolios de Lenga (*Nothofagus pumilio*) y Ñirre (*Nothofagus antarctica*), sector de alto valor agrícola en las cercanías de Coyhaique, Río Simpson, y otras concesiones ganaderas; y (4) Zona pampera, en las cercanías de Balmaceda y Chile Chico, sectores fronterizos con Argentina, es una faja seca, sin bosques ni praderas, lo que permite la crianza de ovejas, con bajas precipitaciones, por lo que el agricultor debe regar diversas plantaciones de hortalizas y frutales, sin embargo el viento es muy fuerte, debiendo proteger fuertemente las huertas (Grosse, 1955).

En congruencia con Grosse (1955), Di Castri & Hajek (1976) señalan que en la Provincia de Aysén se instauran las tendencias climáticas que dominarán hasta el extremo sur del país. A grandes rasgos se reconocen dos franjas paralelas, de norte a sur, con clima totalmente disímil, sobre todo en cuanto a sus efectos biológicos; en la franja occidental o pacífica hay un clima oceánico muy húmedo y con notable constancia térmica a través del año; la franja oriental o trasandina, por el contrario, es del clima más árido, con mayores oscilaciones térmicas anuales, recibiendo fuertes influencias de los bioclimas limítrofes de Argentina, de tendencia continental. La humedad relativa decrece hacia el sur en la parte trasandina, llegando en Chile Chico a valores levemente superiores al 50% en esta localidad, además la fuerte disminución de las lluvias, asociada a temperaturas relativamente elevadas por influencias favorables del lago General Carrera (lago Buenos Aires), otorgando carácterísticas xerotérmicas.

Con respecto a los bosques templados presentes en esta zona, compartidos además con áreas limítrofes de Argentina, cabe destacar que presentan un gran valor ecológico, dada su escasez a nivel mundial y su amplia representatividad a nivel regional, ya que ésta área presenta la mayor superficie junto con los de Canadá y Estados Unidos, y porque tienen una conexión evolutiva y geológica particularmente importante con los de Tasmania y Nueva Zelanda. Por su condición de tipo insular, también son abundantes

en endemismos y en particularidades adaptativas, ligadas con la polinización, dispersión de semillas, hibridismo e introgresión<sup>4</sup> (Donoso, 1993).

#### 3.4 Historia de la ocupación y uso del territorio en la Región de Aysén

A partir de sus expediciones documentadas en 1955, Grosse (1986), expone que la enorme provincia de Aisén con sus 103.584 km, presenta una superficie utilizable del alrededor del 10%, ya que el resto se compone de empinadas montañas, nieve, territorio helado, lagos y pantanos, fiordos y canales.

La ocupación del territorio de Aysén presenta dos frentes: uno oriental y uno occidental, siendo claramente predominante el primero y que esta ocupación se orienta a través de los valles, cuya disposición determina los ejes de penetración. El sentido del poblamiento está indicado fundamentalmente por ocupaciones espontáneas, y en una menor medida por una orientación especial por parte del Estado.

Las características de la ocupación de la región han dado como consecuencia la inexistencia de una estructura integrada; puede decirse que cada valle en mayor o menor medida presenta su propia individualidad, incluso en el interior de los valles coexisten subsistemas espacialmente aislados entre sí, y que en ocasiones tiene un radio de influencia local.

El poblamiento regional ha estado y está directamente relacionado con a las vías de comunicación, donde la carretera austral ha permitido generar una estructura más abierta, dinámica e integrada. Su desarrollo está directamente relacionado con la accesibilidad; a su vez, la carencia de ella dificulta su relación con el resto de la región.

El papel del Gobierno en la región nunca ha estado bien definido y ha jugado papeles distintos a lo largo de la corta historia regional. El Estado ha apoyado, según la época, al poblamiento, pero sin una política de orientación predeterminada, lo que ha llevado a

20

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Introgresión (= hibridación introgresiva): infiltración de genes de una especie en otra diferente por intermedio de híbrido entre ambas, lo que resulta en modificación genética de la segunda especie (Donoso, 2006).



afianzar la ocupación dispersa y desde un criterio altamente centralista. De esta forma la ocupación más efectiva ha sido la espontánea y dispersa, a pesar del centralismo que ejerce Coyhaique. Este sistema de ocupación ha sido el que ha significado porcentualmente un mayor arraigo (Villagran, Núñez, & Hidalgo, 1997).

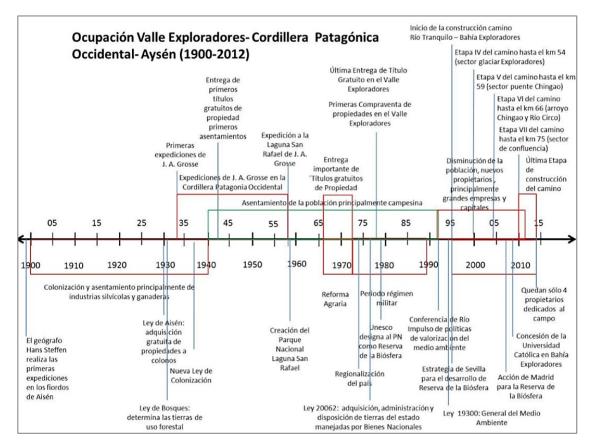
Por una parte, la Región de Aysén presenta un patrimonio natural de alto valor para la biósfera, no obstante, presenta también el menor crecimiento económico de Chile a nivel regional de acuerdo al indicador "Producto interno bruto por región" para los años 1980, 2000, 2013 y 2016 (Banco Central de Chile, 2016).

De acuerdo con la línea de tiempo de la ocupación de esta región (**Figura 1**), prácticamente la primera mitad del siglo XX fue el período donde se produce la colonización y asentamiento principalmente de industrias silvícolas y ganaderas (Romero, 2013), dentro de las que figuran tres ganaderas de gran importancia: Sociedad Industrial de Aysén (SIA), Anglo-Chilean Pastoral Co. y Sociedad Explotadora del Baker (Pomar, 1923). Posteriormente, y hasta fines del régimen militar, se produce el asentamiento de la población principalmente campesina; y hacia findes de 1990, disminuye la población, llegan nuevos propietarios y principalmente grandes empresas y capitales (Romero, 2013).

Es importante destacar aquí, que la fragmentación de los bosques de esta zona se debió principalmente a incendios forestales provocados durante el proceso de colonización espontánea del área a partir de 1930 aproximadamente, provocando la disección de la cobertura vegetal original, con resultados trascendentales en el patrón de distribución del bosque nativo en la actualidad (Pomar, 1923; Grosse, 1955; Bizama et al., 2011).

Lo anterior reafirma de la necesidad de conocer en profundidad la cobertura vegetal, y específicamente del bosque, en el Valle Exploradores, para analizar la fragmentación del paisaje, considerando la ocupación histórica del territorio.

Figura 1: Línea de tiempo de hitos importantes en la ocupación y procesos de esta en el Valle Exploradores.



Fuente: Romero, 2013.

#### 3.5 Delimitación del área de estudio: Valle Exploradores

El área de estudio corresponde a las cuencas hidrográficas que conforman el Valle Exploradores entre Puerto Tranquilo (72°40'17" O), al Este, y Bahía Exploradores (73°33'25" O), al Oeste; por el Norte, el límite se presenta en las cumbres divisorias de aguas, y su sección más amplia aparece en la cabecera del Río Teresa (46°08'49" S), y por el Sur, también el límite se dibuja en las cumbres divisorias de aguas, y su sección más amplia corresponde al sector del Monte San Valentín (3.910 msnm, 46°35'42" S).

La mayor parte de la superficie del área de estudio pertenece a la Provincia de Aysén, Comuna de Aysén, y la menor parte, a la Provincia de General Carrera, Comuna de Río Ibáñez, con una pequeña porción al sur perteneciente a la Comuna de Chile Chico; todo



el territorio señalado corresponde a la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo (Figura 2).

Esta área de 182.334,6 ha, se determinó en base al criterio de establecer unidades estructural y funcionalmente homogéneas del paisaje a través de este valle, que actualmente cuenta con un camino accesible en toda su extensión (ruta X-728), el que probablemente muestre un aumento en su uso basado en el recurso turístico e interés científico, ya que por esta vía se accede a una salida hacia la Laguna San Rafael, parte del Parque Nacional del mismo nombre (Romero, 2013) y con el cual el área de estudio intersecta su superficie en un 22,3%, al Sur de ésta.

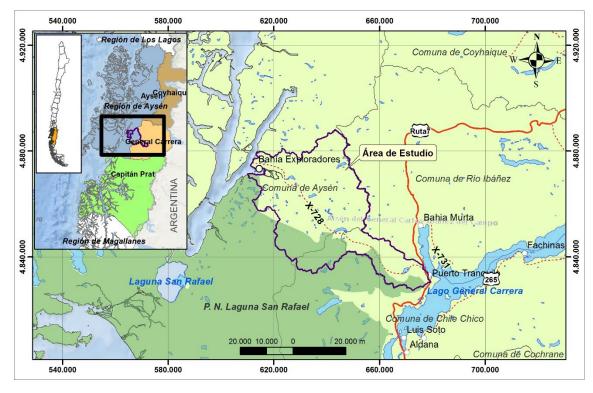


Figura 2: Área de estudio Valle Exploradores: corredor Puerto Tranquilo — Bahía Exploradores.

Fuente: Elaboración propia (Coordenadas UTM, Datum WGS 1984, Huso 18S).

El Valle Exploradores está inscrito además en la Reserva de la Biósfera Laguna San Rafael (UNESCO, 1996), por lo que debe cumplir con las directrices que, respecto de esa categoría, apuntan a la conservación del medio natural, investigación científica,



desarrollo de actividades económicas sostenibles y planificación territorial para la construcción complementaria de paisajes culturales (Borsdorf et al., 2014).

### 3.6 Usos de suelo en el Valle Exploradores

De acuerdo con el reporte del "Monitoreo de cambios, corrección cartográfica y actualización del catastro de bosque nativo en la XI Región de Aysén" (CONAF/UACh, 2012), la provincia de Aysén registra los mayores cambios porcentuales en los usos Terrenos Agrícolas (14,1%) y Áreas Urbanas-Industriales (6,6%), ambos con balances positivos. Los usos Praderas y Matorrales, Humedales y Nieves y Glaciares presentaron balances negativos con cambios que no superaron el -1%. La provincia de Aysén además registra un aumento de 3.236,9 ha correspondiente al uso Bosques, lo que representa el 0,1% de la superficie de cambio respecto al año 1996. El subuso Plantación presentó el mayor aumento porcentual, equivalente a 193,9% (3.310,3 ha). Por otro lado, la mayor pérdida de superficie se produjo en los usos Praderas y Matorrales con -4.804,5 ha y Nieves y Glaciares con -2.276,0 ha. En tanto, la Provincia General Carrera no presenta cambios porcentuales mayores al 1,3% en la clasificación del uso del suelo. Se presenta el mayor balance positivo en el uso Bosques con 3.476,0 ha, lo que corresponde al 1,1%. Por otra parte, la mayor pérdida de superficie se produjo en el uso Praderas y Matorrales con -3.352,8 ha equivalente a -1,3%.

De manera específica, la información cartográfica asociada al reporte señalado representa al 99,85% del área de estudio, describiendo los usos de suelo y sus cambios entre los años 1996 y 2011 para esta sección del territorio, por lo que se definió como información de referencia para determinar la fragmentación del paisaje de "Valle Exploradores".

#### 4 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.1 Determinación de unidades homogéneas en el área de estudio

La delimitación del área de estudio se realizó a partir de un modelo de elevación de terreno ASTER (USGS, 2011), previamente corregida<sup>5</sup>, seleccionando todas las cuencas subsidiarias de los ríos: Tranquilo, Norte, Exploradores y la desembocadura en Bahía Exploradores, desde sus líneas divisorias de aguas. Producto de este proceso se delimitaron tres sectores que, de Este a Oeste corresponden a: (i) Río Tranquilo, (ii) Ríos Exploradores y Norte y (iii) Bahía Exploradores (**Figura 3**).

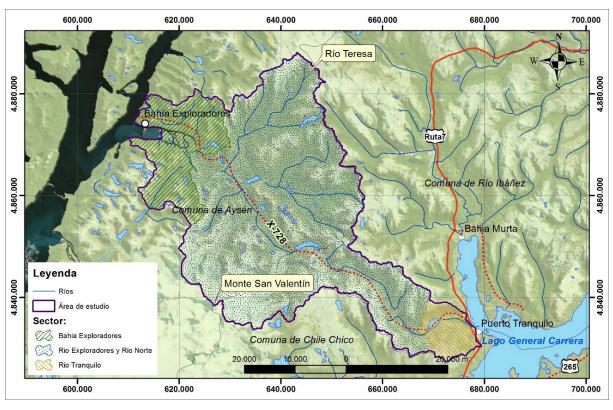


Figura 3: Sectores del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia (Coordenadas UTM, Datum WGS 1984, Huso 18S).

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> El raster DEM ASTER fue sometido a la corrección de datos erróneos, en función de la definición de cuencas hidrográficas, mediante la herramienta *Focal Statistics* de ArcGIS 10.3.

Esta sectorización permite espacializar la descripción de la distribución de la vegetación y otros componentes del paisaje en base a las características físicas del territorio y a los antecedentes bioclimáticos del Valle Exploradores.

## 4.2 Identificación de coberturas de suelo y cuantificación del cambio en el periodo 1987-2015

#### 4.2.1 Identificación de coberturas de suelo

Para identificar las coberturas se utilizó como información de referencia la base de datos cartográfica de la actualización del catastro de bosque nativo en la XI Región de Aysén (CONAF/UACh, 2012), que corresponde a una campaña intensiva realizada en toda la región, principalmente en el uso de suelo Bosque. En base a esta referencia se han definido diez (10) clasificaciones de usos de la tierra o usos de suelo, según se describe en la **Tabla 1**.

Tabla 1: Clasificación de usos de la tierra o usos de suelo.

Clasificación	Uso de la Tierra / Uso del Suelo*
	Bosque Nativo Achaparrado Abierto
	Bosque Nativo Achaparrado Denso
	Bosque Nativo Achaparrado Semidenso
	Bosque Nativo Adulto Abierto
	Bosque Nativo Adulto Denso
O1 Posquo	Bosque Nativo Adulto Semidenso
01 - Bosque	Bosque Nativo Adulto-Renoval Denso
	Bosque Nativo Adulto-Renoval Semidenso
	Bosque Nativo Exóticas Asilvestradas Semidenso
	Renoval Abierto
	Renoval Denso
	Renoval Semidenso
	Matorral Abierto
	Matorral Arborescente Abierto
02 - Matorral	Matorral Arborescente Denso
	Matorral Arborescente Semidenso
	Matorral Denso

Clasificación	Uso de la Tierra / Uso del Suelo*
	Matorral Muy Abierto
	Matorral Pradera Abierto
	Matorral Pradera Semidenso
	Matorral Semidenso
03 - Praderas	Praderas Perennes
04 - Estepa patagónica	Estepa Patagónica
	Marismas Herbáceas
05 - Humedal	Otros Terrenos Húmedos
	Vegas
OC Diameterián suático	Plantación
06 - Plantación exótica	Plantación Joven-Recién Cosechada
	Cajas de Ríos
07 - Cuerpos de agua	Lago-Laguna-Embalse-Tranque
	Ríos
	Afloramientos Rocosos
	Áreas Sobre Límite Vegetación
08 - Área desprovista de vegetación	Derrumbes Sin Vegetación
Vegetación	Otros Terrenos Sin Vegetación
	Playas y Dunas
	Campos de Hielo
09 - Nieves y glaciares	Glaciares
	Nieves
10 - Área urbana o industrial	Ciudades-Pueblos-Zonas Industriales

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos y cartografía de CONAF/UACH (2012)\*

En esta etapa se trabaja sobre imágenes satelitales de media resolución (30 m), las que permiten trabajar grandes extensiones de terreno en forma precisa (Vázquez-Quintero *et al.*, 2012). A partir de estas imágenes se realiza un análisis de los cambios ocurridos durante el periodo estival entre los años 1987 y 2015 en el área de estudio (**Tabla 2**).

Tabla 2: Imágenes Landsat para la elaboración de la clasificación supervisada.

IMG	Imagen	Satélite – (sensor)	Fecha
1	LT05_L1TP_231093_19841226_20170219_01_T1		26 /diciembre / 1984
1	LT05_L1TP_232092_19870209_20170213_01_T1	Landsat 5 (TM)	09 / febrero /1987
2	LT05_L1GS_232092_19991109_20161216_01_T2		09 / noviembre/1999
3	LE07_L1TP_232092_20110219_20161211_01_T1	Landsat 7 (ETM)	19 / febrero / 2011
4	LC08_L1TP_232092_20150121_20170413_01_T1	Landsat 8 (OLI)	21 / enero / 2015

Fuente: Elaboración a partir de <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>. Path:232, Row: 092.

Los criterios de selección de las imágenes incluyen: el periodo estival en que se produce la foliación de las especies dominantes del bosque nativo del área de estudio (Tabla 6), correspondiente al ciclo entre octubre y febrero (Donoso, 2006), y una cobertura de nubes igual o menor el 10%, salvo en el caso de la imagen 1, donde se completa el mosaico agregando una imagen con fecha 26 de diciembre de 1984 al tercio Este del área de estudio, con el fin de obtener información espectral del sector que presenta cubierta de nubes. Posteriormente, se realiza la calibración radiométrica y corrección atmosférica a través del módulo *flaash* en el software ENVI 5.3. Este proceso hace posible la comparación de datos con distintas imágenes captadas por sensores en diferentes periodos de tiempo, lo que conlleva a una interpretación más sólida de los datos y garantiza la compatibilidad multitemporal siempre que abarquen la misma banda del espectro (Chuvieco, 2010).

Una vez corregidas las imágenes, éstas se someten a un proceso de clasificación supervisada, lo que implica categorizar una imagen satelital multiespectral en base a la detección de áreas representativas de cada clase predefinida, en base a la inspección visual, a la actualización del catastro de bosque nativo y al conocimiento del área de estudio en base a información secundaria recopilada, según se describe en la **Tabla 3**.

Tabla 3: Clases definidas en el área de estudio

Clase	Código	Descripción de la clase o categoría	
1	Bos	Bosque	
2	Mat	Matorral	
3	Her	Herbazal	
4	Hum	Humedal	
5	CA	Cuerpos de agua	
6	ADV	Áreas desprovistas de vegetación	
7	Nie	Nieve	
8	Hie	Hielo	
9	Som	Sombra	

Fuente: Elaboración propia en referencia a la base de datos y cartografía de CONAF/UACH (2012)

Como apoyo a la clasificación supervisada se utiliza el índice NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) de cada imagen y combinaciones de falso color de éstas (Landsat 5 y 7 R:4, G:3, B:2; Landsat 8 R:5, G:4, B:3).

En el proceso de clasificación se distinguen tres fases: i) entrenamiento, ii) asignación y iii) comprobación y verificación de resultados (Chuvieco, 2010). En la fase de entrenamiento es importante definir qué elementos representar considerando la resolución espacial, lo que en este caso corresponde a las clases señaladas en la **Tabla 3**.

La fase de asignación se trata de agregar cada píxel de la imagen a una de las clases previamente definidas mediante la clasificación de máxima verosimilitud (Chuvieco, 2010) que consiste en conocer la función de probabilidad que representa cada categoría creada y asignar cada píxel externo a la función que mejor lo represente, suponiendo que cada sitio de entrenamiento presentara una función normal, conociendo su media, varianza y covarianza. Para la aplicación de este clasificador se utilizará el software ENVI 5.3, con la herramienta *maximum likelihood classification* (Chuvieco, 2010; Sagredo, 2016).

La verificación de resultados se lleva a cabo a través de un muestreo aleatorio estratificado de puntos en las imágenes clasificadas, predefiniendo el tamaño de la muestra según la fórmula:

$$L^2 = z^2 \cdot \frac{s^2}{n} \frac{(N-n)}{N}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra, que corresponde a la muestra del total de pixeles circunscritos al área de estudio (~385 puntos)

s<sup>2</sup>= varianza muestral

N= tamaño de la población

z= abscisa de la curva normal para un valor determinado de probabilidad

L= margen de error permitido (5%)

A continuación, estos puntos se separan en mitades según clase y se confrontan para calcular el índice *Kappa* que mide la concordancia sobre el total de observaciones, aislando la concordancia atribuible al azar, y que consiste en una técnica poderosa para obtener información de significancia de una matriz de datos. Complementariamente, se calcula la precisión global (*overall accuracy*) como un apoyo general al índice *Kappa* (Congalton, 1991); ambos índices se calculan en el software ENVI 5.3 con la herramienta *confusion matrix using ground truth ROI's*.

#### 4.2.2 Cuantificación del cambio en el periodo 1987-2015

Para realizar detección de cambios entre dos imágenes clasificadas es importante que ambas presenten una misma categorización y número de clasificación, de esta manera se elabora una tabla de cambios o matriz de cambios que se realizan a través de la herramienta *CROSSTAB* del software IDRISI 17.0 Edición Selva (**Tabla 4**). La columna de la matriz representa la proporción (área o porcentaje) de la fecha más antigua y las filas representan la proporción de la fecha más reciente en la tabla. En la diagonal de la tabla aparecen los valores que cuentan con la misma categoría entre dos fechas, mientras que los cambios ocurren en el resto de las celdas (Chuvieco, 2010).

La matriz de cambios es cuadrada, pero no simétrica, ya que puede indicar cambios contrarios, por lo tanto, el análisis de celdas resulta de interés por encima de los totales de cada categoría (Pontius et al., 2004). Los cambios contrarios se consideran "falsos cambios" que corresponden a conversiones entre categorías no factibles (p.e. cuerpo de agua a bosque), que son producto de las inconsistencias que presenta el método de clasificación supervisada, la base de datos o al criterio del investigador en clasificar imágenes (Velázquez et al., 2002).

Tabla 4: Tabla multitemporal esquemática de cambios o matriz de cambios

		FECHA 1 (f1)				
		Categoría 1 (f1)	Categoría 2 (f1)	Categoría 3 (f1)	Categoría n (f1)	Total (f1)
	Categoría 1 (f2)	Categoría 1 (f1)	Categoría 2 (f1)	Categoría 3 (f1)	Categoría n (f1)	Total
		Categoría 1 (f2)				
	Categoría 2 (f2)	Categoría 1 (f1)	Categoría 2 (f1)	Categoría 3 (f1)	Categoría n (f1)	Total
(f2)		Categoría 2 (f2)				
7	Categoría 3 (f2)	Categoría 1 (f1)	Categoría 2 (f1)	Categoría 3 (f1)	Categoría n (f1)	Total
FECHA		Categoría 3 (f2)				
Ĥ	Categoría n (f2)	Categoría 1 (f1)	Categoría 2 (f1)	Categoría 3 (f1)	Categoría n (f1)	Total
-		Categoría n (f2)				
	T-+-1 (f2)	Total	Total	Total	Total	Suma de los
	Total (f2)	Categoría 1 (f1)	Categoría 2 (f1)	Categoría 3 (f1)	Categoría n (f1)	totales

Fuente: Camacho-Sanabria et al., 2015.

Obtenidas las matrices y superficies de cada clase o categoría, se realiza el cálculo de las tasas de cambio para cada categoría seleccionada a través de la siguiente fórmula (FAO, 1996):

$$t = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Donde:

t= tasa de cambio

 $S_1$ = superficie cubierta por un tipo dado de uso/clase/categoría en la fecha 1  $S_2$ = superficie cubierta por un tipo dado de uso/clase/categoría en la fecha 2 n= número de años transcurridos entre las 2 fechas

# 4.3 Aplicación de índices de fragmentación del paisaje para las coberturas con vegetación del Valle Exploradores, periodo 1987-2015.

Para realizar el análisis de fragmentación de las coberturas de suelo, específicamente de la clase Bosque, se utilizan las imágenes clasificadas para los años en estudio, en la línea de los cambios detectados en el paisaje y su significancia. En este contexto, se aplican una serie de índices con herramientas que contribuyen a generar una interpretación de las características morfológicas del paisaje en base a la vegetación. Los índices a aplicar se describen a continuación (**Tabla 5**) y serán desarrollados a través de las extensiones *Patch Analyst* y *Patch Grid* de ArcGIS 10.3, ésta última con una interfaz de FRAGSTATS 4.2.1 (McGarigal & Cushman, 2012), que facilita el análisis espacial de los parches de paisaje y el modelado de sus atributos (Rempel, Kaukinen & Carr, 2012 (2015)).

Tabla 5: Tabla resumen de métricas del paisaje para el análisis de fragmentación a escala de paisaje y clases

Escala de paisaje				
Métrica	Descripción	Rango de valores		
Índice de diversidad de Shannon (SDI)	Medida relativa a la diversidad de parches en el paisaje	Es = 0 cuando sólo hay un parche y aumenta a medida que aumenta el número de tipos de parches o la distribución proporcional de los tipos de parches		
	Escala de clase			
Métrica	Descripción	Rango de valores		
Área de clase (CA)	Suma de las áreas de todos los parches pertenecientes a una clase y se utiliza en la fórmula de tasa de cambio	hectáreas (ha)		
Porcentaje del paisaje (PLAND)	Porcentaje de ocupación que representa cada categoría con respecto al total	Desde valores cercanos a 0 a 100%		
Número de parches (NUMP)	Número de parches para cada clase individual	Desde 1 para una clase con un único parche hasta n		
Área promedio de parches (MPS)	Área promedio de parches de una clase	Desde valores cercanos a 0 para parches muy pequeños hasta n (ha)		

Longitud de bordes (TE)	Suma del perímetro de todos los parches de una clase	metros (m)
Índice de forma promedio (MSI)	Mide la complejidad geométrica de los parches	Valores = 1 indican una forma circular o cuadrada, valores >1 indican mayor complejidad
Distancia media al vecino más cercano (MNN)	La distancia media del vecino más cercano es el promedio de estas distancias para La distancia media del vecino más cercano es el promedio de estas distancias (metros) para clases individuales en el nivel de la clase	metros (m)

Fuente: Adaptación de Bizama et al., 2011; Vila, Varga, Llausas, & Ribas, 2006.

Los resultados de estos índices representan un comportamiento o proceso de fragmentación en los parches de cada cobertura en un periodo determinado. Una vez que se obtienen los resultados para la totalidad de años en estudio, se interpreta el estado de fragmentación en base a los índices señalados como un proceso integrado y comparativo a nivel de clases dominantes con vegetación, con énfasis en la clase Bosque, y a nivel de paisaje.

#### 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Distribución de la vegetación en el área de estudio

En términos generales, la vegetación descrita para el área de estudio de acuerdo con Gajardo (1993) corresponden a los descrito en la **Figura 4**:

Formaciones vegetacionales (%)

Altas cumbres sin vegetación

Bosque siempreverde de Puyuhuapi

Bosque siempreverde mixto del Baker

Matorral caducifolio altomontano

Matorral peri-glaciar

Figura 4: Formaciones vegetacionales del área de estudio según Gajardo (1993).

Fuente: Elaboración propia en base a Gajardo (1993)

Las mayores representatividades corresponden al bosque siempreverde de Puyuhuapi (30,9%) y a las altas cumbres sin vegetación (27,7%), en tanto la formación con menor representatividad corresponde al bosque siempreverde mixto del Baker (7,9%). Estas formaciones se distribuyen espacialmente según lo grafica la **Figura 5**.

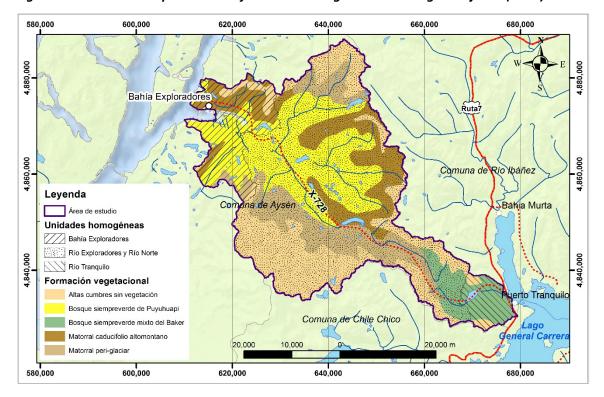
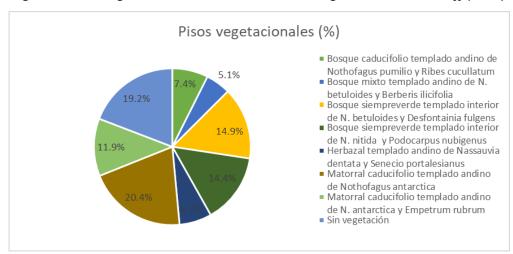


Figura 5: Distribución espacial de las formaciones vegetacionales según Gajardo (1993).

Fuente: Elaboración propia en base a Gajardo (1993)

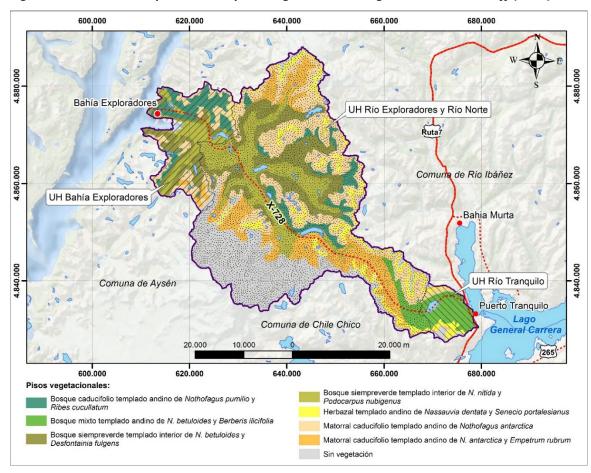
En cuanto a la clasificación de pisos vegetacionales de Luebert & Pliscoff (2018), ésta describe un 70,1% del área de estudio, dejando fuera de la descripción las altas cumbres sin vegetación (**Figura 6**). Esta descripción señala que el piso vegetacional mayormente representado corresponde a Bosque siempreverde templado interior de *Nothofagus betuloides* y *Desfontainea fulgens* (42,5%), en tanto el valor más bajo de representatividad es de Herbazal templado andino de *Nassauvia dentata* y *Senecio portalesianus* (1,6%). Estas formaciones se distribuyen espacialmente según lo grafica la **Figura 7**.

Figura 6: Pisos vegetacionales del área de estudio según Luebert & Pliscoff (2018)



Fuente: Elaboración propia en base a Luebert & Pliscoff (2018)

Figura 7: Distribución espacial de los pisos vegetacionales según Luebert & Pliscoff (2018).



Fuente: Elaboración propia en base a Luebert & Pliscoff (2018)

En suma a lo anterior y de acuerdo con la actualización del catastro de bosque nativo en la XI Región de Aysén (CONAF/UACh, 2012), en la **Tabla 6** se describen las características y distribución de las especies dominantes en el área de estudio. En la descripción se observa que las especies del género Nothofagus en general colonizan espacios de aclareo o disturbios del tipo deslizamientos y aluviones, adaptándose a condiciones de suelos muy delgados y pobres en nutrientes (**Fotografía 1**).

Google Earth

N

400 m

Fotografía 1: Colonización en suelos con pendientes inestables, especies pioneras.

Fuente: Google Earth. CNES / Airbus (15 de septiembre de 2013). Coordenadas de referencia E: 636.330 y N: 4.843.555

Por otra parte, se observa que las especies de la asociación Tepu, Canelo y Ciprés de las Guaitecas por definción ocupan sectores de vegas y terrenos planos, no obstante en el área de estudio según la actualización del catastro de bosque nativo en la XI Región de Aysén (CONAF/UACh, 2012) estos terrenos se relacionan con el uso del suelo de Pradera, que presenta un rango altitudinal que va aumentando desde el sector de Bahía Exploradores (11 m) hasta Río Tranquilo (239 m), lo que concuerda con los sectores que han sido despejados para el pastoreo, plantaciones y accesibilidad (Teillier & Marticorena, 2002), aspecto reflejado en las especies dominantes de este uso,

correspondientes a: *Taraxacum officinale* (Weber)<sup>6</sup>, *Paspalum dilatatum* (Poir.)<sup>7</sup> y *Rumex acetosella*<sup>8</sup>, entre otras. Según señala Grosse (1955), al momento de acercarse por el mar a Bahía Exploradores estos terrenos ya presentaban explotaciones. Esta información es coincidente con lo relatado por Martinic (2007 y 2014), donde señala que el Ciprés de las Guaitecas era comúnmente explotado en zonas archipielágicas y litorales del sector, únicamente para su empleo en forma de postes, asimismo desde la segunda mitad del siglo XIX el Ciprés de las Guaitecas se explotó para utilizarlo como durmientes de ferrocarril, principalmente entre Lima y El Callao. Primero se explotó en Melinka y luego viajando al sur en busca de nuevos bosques de esta especie (Martinic, 2007). En estos nuevos claros crece también la Quila, que impide el desarrollo de renovales de esta y otras especies.

Es importante señalar que existe una variante en el uso de suelo Pradera, la Estepa patagónica, que ocupa los sectores de Río Tranquilo (300 m) y Ríos Exploradores y Norte (500 m), y a diferencia del uso Pradera antes señalado, incluye dominancia de especies nativas, principalmente de *Festuca pallescens* (St. Yves) o "Coirón", que si bien es una especie forrajera natural, en estos sectores ocupa superficies a mayor altitud, principalmente límite con las áreas desprovistas de vegetación.

El caso de los matorrales merece una atención especial, pues si bien autores como Segura *et al.* (1998) sugieren que el crecimiento y formación de matorrales sería, en muchos casos, la resultante de la quema de bosques, la evidencia histórica analizada demostraría la existencia de dichas formaciones vegetales con anterioridad a la ocurrencia de incendios en el área (Simpson, 1875; Steffen, 1909; Pomar, 1923; Reiche, 1934; Bizama *et al.*, 2011).

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> "Diente de León": Especie introducida, frecuente; planta comestible y forrajera (<u>www.chileflora.cl</u>).

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> "Pasto miel": Gramínea perenne de ciclo estival y de alto valor forrajero (García, Arturi, & Ansín, 2002)

<sup>8 &</sup>quot;Vinagrillo": Especie alóctona, asilvestrada, comestible y forrajera (www.inia.cl).

Tabla 6: Características de las especies dominantes del Valle Exploradores

Nombre vernáculo Especie	Sectores donde se establece	Altitud (m)	Foliación	Floración
<b>Coigüe de Chiloé</b> <i>Nothofagus nitida</i> (Phil.) Krasser	Se renueva en claros. Pionero.	0 – 900** Cordillera de la costa: 500-2.000* Costa:0-1.500*	Perenne. Noviembre	Comienza en octubre o noviembre
Coigüe de Magallanes Nothofagus betuloides (Mirb.) Oerst.	Se regenera bajo doseles densos, coloniza morrenas y sectores de desglaciación y luego Lenga y Ñirre. Regeneración por fases de claros. Bosques adultos baja regeneración. Prefiere laderas de exposición sur.	Cordillera de la costa: 500-2.000* Costa:0-1.500*	-	Fines de primavera
Lenga Nothofagus pumilio (Poepp. & Endl.) Krasser	Desarrollo sobre suelos volcánicos y /o materiales glaciares con depósito de cenizas volcánicas. Regeneración por disturbios. Especie más importante del límite arbóreo, crece como cinturón entre los 100 y 1400 msnm. Renovación por aclareo. Laderas de exposición norte.	500-2.000* 0-2.000**	Caduca Octubre a noviembre	-
<b>Ñirre</b> Nothofagus antarctica (G. Forst.) Oerst.	Se establece en sectores húmedos, suelos delgados, bordes de bosque junto a Lenga y turberas. Resistente al estrés de todo tipo. Ecotono con estepa patagónica.	0-1.800** Cordillera de la costa: 500-2.000	Perenne	Octubre - noviembre
Coigüe Nothofagus dombeyi (Mirb.) Oerst.	Altamente intolerante a la sombra, el renoval tarda mucho más que otros Nothofagus. Regenera en claros pequeños. Requiere humedad y temperaturas bajas.	0-1.100**	Perenne Septiembre - octubre	Primavera
<b>Tepu</b> <i>Tepualia stipularis (Hook. &amp; Arn.) Griseb.</i>	Crece en sitios muy húmedos de pésimo drenaje y gleizados. Crece bajo sombra y regenera bajo el dosel. Se asocia muy bien a <i>Pilgerodendron uviferum</i> .	0-1.000**	Perenne	-
Notro		0-1.500**	Perenne	

Nombre vernáculo  Especie	Sectores donde se establece	Altitud (m)	Foliación	Floración
Embothrium coccineum J.R. Forst. & G. Forst.	Muy adaptable, prefiere fondos de valle y laderas bajas. Forma parte de bosques mixtos de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>N. betuloides</i> , junto con <i>Drimys winteri, Maytenus magellanicum</i> y especies menores. Prefiere laderas de exposición norte.			Septiembre - octubre
<b>Tepa</b> <i>Laureliopsis philippiana</i> (Looser) Schodde	Se desarrolla sobre suelos de origen fluvio glacial. Especie abundante asociada a <i>N. nítida, Drimys winteri, Embothrium coccineum</i> .	0-1.000**	Perenne	Septiembre - octubre
Canelo Drimys winteri J.R. Forst. & G. Forst. var. Winteri	Crece en bordes de vegas o cursos de agua, en terrenos muy húmedos. Subtipo hidrófilo. Se asocia a especies propias del tipo forestal Ciprés de las Guaitecas: <i>P. uviferum, N. betuloides, E. coccineum, N. antarctica</i>	0-2.500** Cord. De la costa: 500-2.000* Costa: 0-500*	Perenne	Septiembre - noviembre
Ciprés de la Guaitecas Pilgerodendron uviferum (D. Don) Florin	Crece en el agua o muy cerca de cursos de agua permanentes, vegas, bordes de lago. Terrenos planos o laderas de exposición norte	0-800** Cord. De la costa: 500-2.000* Costa: 0-500*	Perenne	-
<b>Quila</b> Chusquea quila Kunth	Impide crecimiento de renovales. Principal competencia. Crece con raíces muy cerca de cursos de agua o terrenos húmedos; en terrenos planos o laderas de exposición norte. Crece bajo dosel.	0-1.000**	Perenne	-

Fuente: Elaboración propia en base a Donoso, 2006. \* <a href="http://www.chileflora.com">http://www.chileflora.com</a>, \*\* <a href="http://www.darwin.edu.ar">http://www.darwin.edu.ar</a>

# 5.2 Identificación de clases y cuantificación del cambio en las clases de usos de suelo con vegetación en Valle Exploradores

Como primer resultado del proceso de clasificación supervisada, se obtuvo un índice *Kappa* entre 0,77 (1987) y 0,89 (2011 y 2015) y una precisión global entre 80,59% (1999) y 91,10% (2011) de las áreas de entrenamiento respecto de la clasificación de máxima verosimilitud en cada imagen (**Tabla 7 y ANEXO 1**).

Tabla 7: Índice Kappa y precisión global de áreas de entrenamiento respecto de la clasificación supervisada de cada imagen

IMG	Mes / Año	Satélite – (sensor)	Карра	Precisión global (%)	Valoración cualitativa del ajuste*		
1	Dic / 1984		0,87	89,19	Casi perfecta		
1	Feb /1987	Landsat 5 (TM)	0,87	09,19	casi periecta		
2	Nov /1999		0,77	80,59	Considerable		
3	Feb / 2011	Landsat 7 (ETM)	0,89	91,10	Casi perfecta		
4	Ene / 2015	Landsat 8 (OLI)	0,89	90,91	Casi periecta		

Fuente: Elaboración propia en referencia a \*Landis & Koch (1977)

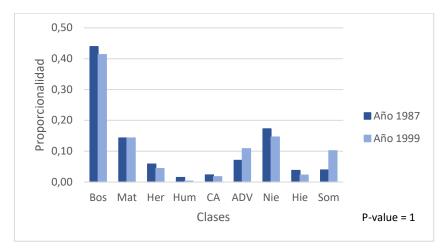
En general, los valores descritos presentan ajustes considerables y casi perfectos, mostrando uno de los valores más altos de *Kappa* y de precisión global la imagen 3 del año 2011, que es la imagen sobre que se trabajó en referencia a la cartografía de la actualización de CONAF/UACH (2012). En la **Figura 8** Se presentan las clasificaciones de las imágenes por año.

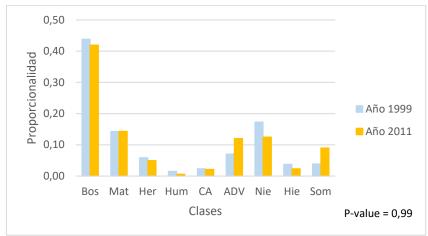
El segundo resultado de esta etapa corresponde al análisis de las matrices de cambio, productos de la clasificación supervisada, donde las comparaciones se realizan entre pares consecutivos de imágenes, usando la proporcionalidad de cada clase en el área de estudio para graficar el cambio ocurrido a nivel de número de pixeles asignados a cada una de estas (Figura 9).

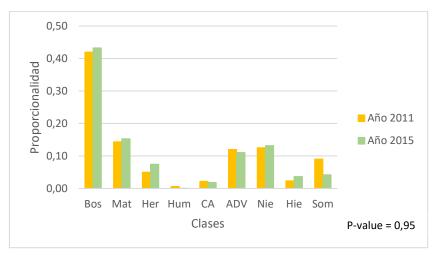
Valentin. Valentin. Valentin... Valentin Simbología Ruta X-728 Humedal Hielo Clases Sectores área de estudio Bosque Cuerpo de agua Sombra Matorral Área desprovista de vegetación Herbazal Nieve

Figura 8: Clasificación supervisada para las imágenes A) 1987, B) 1999, C) 2011 y D) 2015.

Figura 9: Proporcionalidad de clases de las matrices de cambio por año







Según los resultados descritos en la **Figura 9**, se observa que las clases con vegetación (Bosque, Matorral, Herbazal y Humedal) se muestran proporcionalmente similares en cada matriz, ocupando la mayor proporción la clase Bosque, seguida por Matorral, luego Herbazal y por último Humedal (**ANEXO 2**).

A cada matriz de cambio se le realiza un análisis de varianza para evaluar si estos cambios observados son significativos. Los valores del parámetro *P-value* determinaron que ninguna de las matrices muestra una diferencia estadísticamente significativa, ya que superan ampliamente el valor de significancia de 0,05.

Respecto de la tasa de cambio, ésta se calculó para las clases con vegetación: Bosque, Matorral, Herbazal y Humedal (**Tabla 8**), mostrando que en promedio la menor tasa de cambio corresponde a la clase Bosque (0,002%), valor congruente con el 0% regional para el periodo 1996 – 2011 (CONAF/UACh, 2012). En segundo lugar, se presenta la clase Matorral (0,004%), que difiere del -0,65% regional del mismo periodo, en tercer lugar, se presenta en la clase Herbazal (0,03%), que también difiere del -3,2% regional del periodo indicado y, por último, el mayor valor de tasa de cambio se presenta en la clase Humedal (-0,18%), muy consistente con el valor de -0,2% regional. Las variaciones descritas se observan en un rango entre 0,03% y -0,18%, equivalente a una variación de +4,7 ha de Bosque y de -99,7 ha de Humedales entre los años 1987 y 2015.

Tabla 8: Superficies y tasa de cambio de las clases Bosque, Matorral y Herbazal por año

Clase		ΑÑ	ŇO		Promedio	
Tasa de cambio_Clase	1987	1999	2011	2015	Fiomedio	
Bos	75.340,62	80.018,01	76.552,65	78.851,88	77.690,79	
t_Bos	0	0,01	-0,004	0,01	0,002	
Mat	26.052,93	26.101,71	26.166,42	27.874,98	26.549,01	
t_Mat	0	0,0002	0,0002	0,02	0,004	
Her	8.042,31	10.710,54	9.094,86	13.622,22	10.367,48	
t_Her	0	0,02	-0,01	0,11	0,03	
Hum	531,63	2.765,97	1.111,05	1,71	1.102,59	
t_Hum	0	0,15	-0,07	-0,80	-0,18	

Fuente: Elaboración propia en base a FAO (1996)

## 5.3 Evaluación de la fragmentación del paisaje en base a las coberturas de vegetación

A nivel de paisaje el índice de diversidad de Shannon (SDI) es útil para comparar distintos paisajes o distintos momentos de un mismo paisaje (Vila, Varga, Llausas & Ribas, 2006). Desde ese enfoque, los resultados obtenidos para el área de estudio se presentan entre 1,68 (2015) y 1,73 (2011), éstos valores indican heterogeneidad del conjunto con una alta abundancia relativa dentro del paisaje (**Figura 10**). El sector con valores más altos, similares al paisaje total, es Río Exploradores y Norte, que es el sector más amplio del valle y con mayor diversidad en todos los años analizados, en tanto los menores valores se presentan en el sector de Bahía Exploradores, donde el paisaje está dominado por la clase Bosque en una cuenca más cerrada y expuesta a la influencia oceánica, y expresa la menor intervención antrópica de los tres sectores, lo que también sugiere la conservación de una estructura de vegetación original.

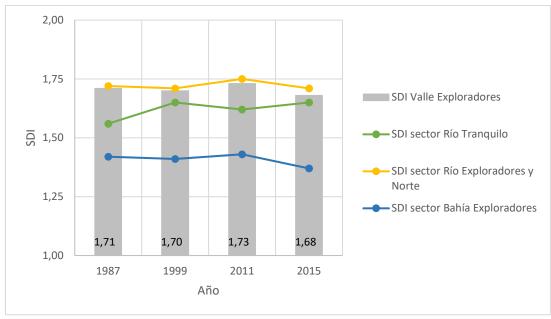


Figura 10: Índice de diversidad de Shannon (SDI) para el área de estudio y sectores por año

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al sector de Río Tranquilo, si bien presenta una diversidad intermedia, ésta se asocia a la mayor intervención antrópica de los tres sectores.

Respecto del análisis de índices de paisaje a nivel de clases, éste se realiza para las tres clases dominantes con vegetación: Bosque, Matorral y Herbazal. Igualmente se realiza el análisis por sector, principalmente por la baja diferencia de valores de SDI del paisaje total, y que al interpretarlos de esta manera muestran valores asociados a las características inherentes de cada unidad homogénea del paisaje (p.e. distribución de la vegetación, intervención antrópica, entre otros).

## 5.3.1 Clase Bosque

Desde el enfoque descrito anteriormente, los resultados del índice de distancia media al vecino más cercano para esta clase indican que en los cuatro años el sector de Río Tranquilo presenta mayores distancias que los otros dos sectores, y Bahía Exploradores es el sector donde se observan las menores distancias; la mayor variación de distancias se observa en el año 2011, entre el sector de Río Tranquilo y Bahía Exploradores. Algo similar se observa para el índice de forma, que en términos generales presenta formas complejas, no obstante, los valores más altos del índice y su variación corresponden al sector de Río Tranquilo en todos los años, lo que puede estar influido por la mayor intervención de esta clase en ese sector, y los menores valores se observan el Bahía Exploradores, excepto en el año 2011. La mayor variación entre sectores corresponde al año 2015 (**Tabla 9**).

La longitud de bordes muestra los mayores valores para el sector de Río Exploradores y Norte, lo que dice relación con la proporción que representa esta clase en este sector dentro del paisaje de Valle Exploradores (43%).

Tabla 9: índices de paisaje de la clase Bosque por sector y por año

Índice de paisaje			Aí		Variación		
	Sector	1987	1999	2011	2015	Promedio	(máx- mín)
Distancia media al	RT	55,05	49,88	61,65	50,07	54,16	11,77
vecino más cercano	REN	52,47	45,57	55,72	49,09	50,71	10,15
(m)	BE	47,50	45,78	48,75	48,75	47,70	2,97
Promedio		51,67	47,08	55,37	49,30	50,86	
Variación (máx-	mín)	7,55	4,31	12,90	1,32		

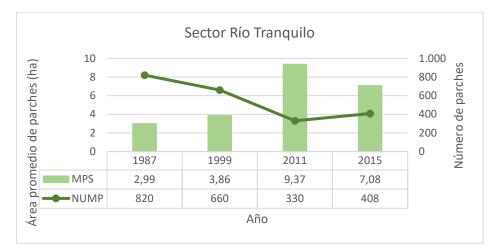
Índice de paisaje			Ai	_	Variación		
	Sector	1987	1999	2011	2015	Promedio	(máx- mín)
	RT	1,25	1,27	1,35	1,37	1,31	0,12
Índice de forma	REN	1,22	1,22	1,25	1,27	1,24	0,05
	BE	1,19	1,21	1,26	1,26	1,23	0,07
Promedio		1,22	1,23	1,29	1,30	1,26	
Variación (máx-mín)		0,06	0,06	0,10	0,11		

Índice de paisaje	Sector		Ai	ĭo			Variación
		1987	1999	2011	2015	Promedio	(máx- mín)
	RT	531.180	668.880	528.360	602.100	582.630	140.520
Longitud de bordes (m)	REN	6.106.260	7.269.120	7.152.660	7.137.480	6.916.380	1.162.860
(111)	BE	1.697.040	1.797.660	1.840.320	1.840.320	1.793.835	143.280
Promedio		2.778.160	3.245.220	3.173.780	3.193.300	3.097.615	
Variación (máx-mín)		5.575.080	6.600.240	6.624.300	6.535.380		

,			Ai			Variación	
Índice de paisaje	Sector	1987	1999	2011	2015	Promedio	(máx- mín)
	RT	0,27	0,28	0,34	0,32	0,30	0,07
Porcentaje del paisaje (x100 (%))	REN	0,40	0,42	0,40	0,41	0,41	0,02
paisaje (x100 (70))	BE	0,55	0,59	0,54	0,58	0,57	0,05
Promedio		0,41	0,43	0,43	0,44	0,43	
Variación (máx-	-mín)	0,28	0,31	0,20	0,26		•

En relación a los índices de paisaje de número de parches y área promedio del parche para esta clase, se observa que a mayor número de parches, menor área promedio de éstos (**Figura 11**).

Figura 11: Número de parches y área promedio de los parches de la clase Bosque por sector







Al realizar el análisis por sector, es posible señalar que el número de parches de la clase Bosque en el sector Río Tranquilo presenta el mayor descenso (-50,2%) entre el año 1987 y 2015, mientras que en el sector de Bahía Exploradores si bien presenta un descenso (-32,1%) expone también el mayor aumento de área promedio de parches en el mismo periodo (+6,2 ha). El sector de Río Exploradores y Norte se mantiene, con un descenso de 0,2% en el número de parches.

Lo anterior sugiere que la disminución del número de parches y el incremento de la superficie de éstos es una recuperación de la continuidad de la cobertura de esta clase dominante.

#### 5.3.2 Clase Matorral

Los resultados del índice de paisaje de distancia media al vecino más cercano para esta clase indican que los mayores valores corresponden al sector de Bahía Exploradores y los menores al sector de Río Tranquilo, lo que es coincidente con la distribución del matorral a lo largo del valle (**Figura 7**; Luebert & Pliscoff, 2018; CONAF/UACh, 2012).

En cuanto al índice de forma, los resultados indican que en general corresponden a formas complejas, y que los mayores valores se presentan en el sector de Río Tranquilo para todos los años, excepto 1999, que se presenta en Río Exploradores y Norte. Lo anterior se podría explicar por la mayor diversidad de coberturas en Río Tranquilo, que incluye plantaciones forestales, con episodios de cosechas, y consecuentes matorrales y herbazales y despejes para pastoreo en sectores más accesibles para su manejo.

La longitud de bordes presenta mayores valores en el sector de Río Exploradores y Norte en todos los años, al igual que la clase Bosque, no obstante, estos valores están por sobre la clase dominante en un 17,9%, lo que es coincidente con un mayor número de parches de matorral distribuidos a través del valle a pesar de su menor proporcionalidad en el paisaje (21%) (**Tabla 10**).

Tabla 10: índices de paisaje de la clase Matorral por sector y por año

Índice de paisaje			Ai			Variación	
	Sector	1987	1999	2011	2015	Promedio	(máx- mín)
Distancia media al	RT	43,94	45,63	53,80	43,65	46,76	10,15
vecino más cercano	REN	52,74	54,58	55,66	51,38	53,59	4,28
(m)	BE	58,65	65,31	61,22	56,47	60,41	8,84
Promedio		51,78	55,17	56,89	50,50	53,59	
Variación (máx-	Variación (máx-mín)		19,68	7,42	12,82		

Índice de paisaje	Sector		Ai		Variación		
		1987	1999	2011	2015	Promedio	(máx- mín)
	RT	1,32	1,28	1,31	1,38	1,32	0,10
Índice de forma	REN	1,34	1,32	1,31	1,34	1,33	0,03
	BE	1,30	1,29	1,29	1,30	1,30	0,01
Promedio		1,32	1,30	1,30	1,34	1,32	
Variación (máx-mín)		0,04	0,04	0,02	0,08		

Índice de paisaje			Aí			Variación	
	Sector	1987	1999	2011	2015	Promedio	(máx- mín)
	RT	800.220	1.130.340	896.280	1.053.780	970.155	330.120
Longitud de bordes (m)	REN	7.399.260	9.502.020	8.299.020	9.132.240	8.583.135	2.102.760
(111)	BE	1.567.800	1.894.500	1.696.260	1.898.220	1.764.195	330.420
Promedio		3.255.760	4.175.620	3.630.520	4.028.080	3.772.495	
Variación (máx-	Variación (máx-mín)		8.371.680	7.402.740	8.078.460		

,			Ai	ño			Variación
Índice de paisaje	Sector	1987	1999	2011	2015	Promedio	(máx- mín)
	RT	0,42	0,37	0,31	0,32	0,35	0,11
Porcentaje del paisaje (x100 (%))	REN	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,01
paisaje (x100 (70))	BE	0,14	0,14	0,16	0,17	0,15	0,02
Promedio		0,23	0,21	0,20	0,21	0,21	
Variación (máx	-mín)	0,29	0,24	0,18	0,18		

Según los resultados graficados en la **Figura 12**, el número de parches de la clase Matorral presenta un aumento en los tres sectores. De acuerdo con el análisis por sector, se observa que el sector Río Tranquilo presenta el mayor aumento de número de parches (+65,5%) entre el año 1987 y 2015, seguido por Bahía Exploradores (+34,9%) y Río Exploradores y Norte (+27,2%). Respecto del aumento del área promedio de parches, el Río Tranquilo presenta la mayor disminución (-4,15 ha) en el mismo periodo.

Sector Río Tranquilo 9,00 1.000 promedio de parches (ha) 900 8,00 parches 7,00 700 6,00 600 5,00 Número de 500 4,00 400 3,00 300 2,00 200 1,00 100 0,00 0 1987 1999 2011 2015 Área p MPS 7,77 3,81 3,55 3,62 NUMP 487 871 797 806 Año

Figura 12: Número de parches y área promedio de los parches de la clase Matorral por sector





#### 5.3.3 Clase Herbazal

En esta clase el índice la distancia media al vecino más cercano no presenta una distribución referida a un sector por sobre los otros a través de los años en estudio. Este índice muestra variaciones entre los 0,2 m (2011) y 5,2m (2015), lo que sugiere una distribución bastante homogénea de los parches en el valle.

Los resultados del índice de forma describen parches de formas complejas y no presentan una relación marcada con un sector, lo que es coincidente con los resultados del índice señalado anteriormente.

Respecto a la longitud de bordes, los resultados muestran mayores valores en el sector de Río Exploradores y Norte, seguidos por el sector de Bahía Exploradores y por último Río Tranquilo, lo que dice relación con la proporción que representa cada sector en el paisaje. La mayor proporción de esta clase respecto del paisaje corresponde al sector de Río Tranquilo con un promedio de 11%, lo que está relacionado con la mayor intervención antrópica en esta área. Cabe señalar que desde el año 1987 al 2015 en todos los sectores esta clase ha ido aumentando su proporcionalidad entre un 3%, en el sector de Río Exploradores y Norte, y un 5%, en Río Tranquilo (**Tabla 11**).

Tabla 11: índices de paisaje de la clase Herbazal por sector y por año

,			Ai	ňo			Variación
Índice de paisaje	Sector	1987	1999	2011	2015	Promedio	(máx- mín)
Distancia media al	RT	62,01	55,06	59,91	48,28	56,32	13,73
vecino más cercano	REN	58,18	52,45	60,11	50,17	55,23	9,94
(m)	BE	60,68	51,83	59,98	53,52	56,50	8,85
Promedio		60,29	53,11	60,00	50,66	56,02	
Variación (máx-	mín)	3,83	3,23	0,20	5,24		

			Ai	ño			Variación
Índice de paisaje	Sector	1987	1999	2011	2015	Promedio	(máx- mín)
	RT	1,29	1,34	1,30	1,35	1,32	0,06
Índice de forma	REN	1,34	1,34	1,33	1,33	1,34	0,01
	BE	1,33	1,34	1,27	1,32	1,32	0,07
Promedio		1,32	1,34	1,30	1,33	1,32	
Variación (máx-	Variación (máx-mín)		0	0,06	0,03		•

			Ai	ĭo			Variación
Índice de paisaje	Sector	1987	1999	2011	2015	Promedio	(máx- mín)
Laurette dala bandar	RT	505.800	569.100	505.440	698.640	569.745	193.200
Longitud de bordes (m)	REN	4.213.260	5.616.360	4.305.840	6.673.920	5.202.345	2.460.660
(111)	BE	606.120	787.680	740.820	1.169.580	826.050	563.460
Promedio		1.775.060	2.324.380	1.850.700	2.847.380	2.199.380	
Variación (máx-	mín)	3.707.460	5.047.260	3.800.400	5.975.280		

,			Ai	ño			Variación
Índice de paisaje	Sector	1987	1999	2011	2015	Promedio	(máx- mín)
Danas dala	RT	0,09	0,11	0,11	0,14	0,11	0,05
Porcentaje del paisaje (x100 (%))	REN	0,04	0,06	0,05	0,07	0,06	0,03
paisaje (x100 (70))	BE	0,03	0,04	0,04	0,07	0,05	0,04
Promedio		0,06	0,07	0,07	0,09	0,07	
Variación (máx-	mín)	0,06	0,06	0,07	0,07		

Los índices de número de parches y área promedio de parches para la clase Herbazal presentan un aumento en el número de parches, donde el sector de Bahía Exploradores presenta el mayor aumento (+73%), seguido por Río Exploradores y Norte (+45,6%) y en

menor proporción Río Tranquilo (+18,8%). En cuanto al área promedio de parches, se observa una variación que se incrementa en el periodo, con un aumento de +0,2 ha (26%) en el sector de Río Tranquilo, 0,1 ha (14,3%) en el sector de Río Exploradores y Norte y una diferencia máxima de +0,17 ha (27,9%) en Bahía Exploradores (**Figura 13**).



Figura 13: Número de parches y área promedio de los parches de la clase Herbazal por sector



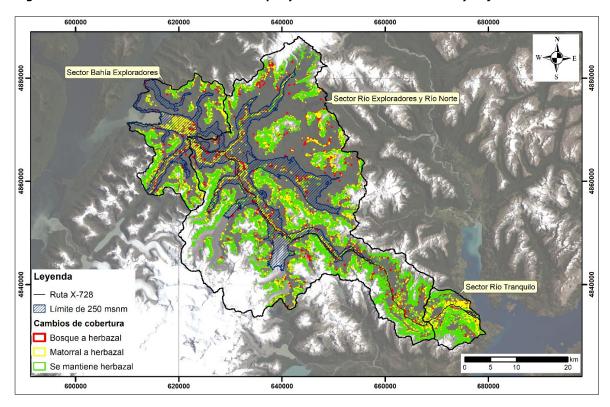


Dada la composición florística de esta clase, que por definición se asocia mayormente a especies asilvestradas forrajeras, y los valores porcentuales observados que indican un aumento importante del número de parches y su área promedio entre 1987 y 2015, es importante destacar que la mayor parte del cambio de cobertura de suelo de Bosque a Herbazal ocurre bajo los 250 m de altitud en los tres sectores, debido a que esta zona presenta menores pendientes y es propicio para el pastoreo. El cambio de Matorral a Herbazal ocurre mayormente bajo los 250 m para los sectores de Río Exploradores y Norte y Bahía Exploradores, en tanto para el sector de Río Tranquilo este cambio es mayor sobre los 250 m. La superficie que se mantiene como Herbazal corresponde principalmente a zonas sobre los 250 m, congruente con la existencia de estepa patagónica en altura como límite de la vegetación (Tabla 12 y Figura 14).

Tabla 12: Cambios de coberturas de Bosque y Matorral a Herbazal, periodo 1987 - 2015

	Cambio de	9	Superficie (ha) po	r sector		Total	Total
Altitud	cobertura (1987 – 2015)	Bahía Exploradores	Río Exploradores y Río Norte	Río Tranquilo	Total	superficie con cambios (ha)	general (ha)
	Bosque a herbazal	15.4 <i>0.2%</i>	165.2 2.2%	42.3 <i>0.6%</i>	222.9 3.0%	7,455.8 <i>92.6%</i>	
Sobre los 250 m	Matorral a herbazal	541.5 7.3%	2,422.4 <i>32.5%</i>	575.4 <i>7.7%</i>	3,539.3 <i>47.5%</i>		
	Se mantiene herbazal	421.5 5.7%	2,861.5 <i>38.4%</i>	410.7 5.5%	3,693.7 <i>49.5%</i>		8,050.7
	Bosque a herbazal	29.5 5.0%	152.7 25.7%	11.3 1.9%	193.4 <i>32.5%</i>	594.9 7.4%	6,030.7
Bajo los 250 m	Matorral a herbazal	97.0 16.3%	222.2 37.4%	20.8 3.5%	340.0 57.2%		
	Se mantiene herbazal	3.5 <i>0.6%</i>	54.7 9.2%	3.3 <i>0.5%</i>	61.4 10.3%		

Figura 14: Cambios de coberturas de Bosque y Matorral a Herbazal sobre y bajo los 250 msnm



Fuente: Elaboración propia

## 6 CONCLUSIONES

El estudio realizado sobre el Valle Exploradores expone un paisaje dominado por bosques del género Nothofagus, con una estructura y composición que varía tanto a lo largo del valle como en el gradiente altitudinal. Si bien esta lectura representa lo esperado según las fuentes recopiladas, existen variables relacionadas a la ocupación del territorio que fueron particularmente observadas en el periodo 1987 – 2015, donde específicamente se evaluó el estado de la fragmentación del paisaje a partir de las coberturas de vegetación dominantes, mediante un análisis de percepción remota, en base a la clasificación supervisada de imágenes de media resolución (Landsat) y a la interpretación de índices de paisaje.

En primera instancia, los resultados a escala de paisaje no muestran diferencias significativas entre las clases con vegetación entre las cuatro imágenes clasificadas, sin embargo, este proceso expresa la dominancia de la clase Bosque por sobre las demás clases, además de evidenciar el orden de dominancia de dichas clases: i) Bosque, ii) Matorral, iii) Herbazal y iv) Humedal, y sus características asociadas a cada sector en estudio (Río Tranquilo, Río Exploradores y Norte y Bahía Exploradores).

En una segunda instancia, a nivel de clases, es posible descifrar algunos rasgos de las clases dominantes señaladas anteriormente, subdividiéndolas por año y por sector. En esta línea los principales hallazgos corresponden a:

La clase Bosque presenta en general una disminución de parches en el periodo en estudio, y un mayor aislamiento en el sector de Río Tranquilo, en tanto el aumento del área promedio de parches se presenta en Bahía Exploradores. Este efecto es concordante con la ocupación longitudinal del valle, principalmente desde el Este, y evidencia otros focos dispersos de ocupación. La proporcionalidad de esta clase en el paisaje sigue siendo importante y dominante en el contexto, con un rango entre 41% (1987) y un 44% (2015).

Todo lo anterior sugiere una tendencia a la recuperación en la calidad y continuidad de los parches de Bosque.

- La clase Matorral se caracteriza por el aumento de números de parches y la disminución del área promedio de éstos en todos los sectores, no obstante, se observan menores valores de distancia al vecino más cercano en Río Tranquilo y mayores en Bahía Exploradores, lo que es coincidente con la distribución del matorral a lo largo del valle. El índice de forma presenta mayor complejidad en Río Tranquilo, lo que puede ser explicado por la mayor diversidad de coberturas de suelo, pese a su menor proporcionalidad respecto del contexto (21%), y la adaptación de éstos a la heterogeneidad del paisaje que incluye plantaciones forestales, con episodios de cosechas y despejes para pastoreo, y consecuentes cambios en la composición florística (p.e. nuevas configuraciones de matorrales y herbazales), en sectores más accesibles para su manejo.
- En la clase Herbazal, en general no presenta una distribución de distancia a los parches vecinos más cercanos referida a un sector por sobre los otros, sino que se caracteriza por una configuración homogénea a lo largo del valle, mostrando una proporcionalidad promedio de un 11%. Sin embargo, esta clase presenta un aumento en el número de parches de un 73% en el periodo 1987 2015 en el sector de Bahía Exploradores, con un aumento también del área promedio de parches. Este hallazgo permite relacionar algunas inferencias, por ejemplo, si el aumento del Herbazal en este sector está asociado al drenaje de humedales, a la pérdida de especies de la asociación Tepu, Canelo y Ciprés de las Guaitecas, que por definción ocupan sectores de vegas y terrenos planos, no obstante, en el área de estudio estos terrenos actualmente se relacionan con el uso del suelo de Praderas con especies asilvestradas (CONAF/UACh, 2012), o bien, este efecto se debe a una explotación desde transportes

marítimos, como se sabe que se realizó a partir de la segunda mitad del siglo XIX en la zona. Lo concreto es que la mayor parte del cambio de cobertura de suelo de Bosque a Herbazal ocurre bajo los 250 m de altitud en los tres sectores, debido a que esta zona presenta menores pendientes y es propicio para el pastoreo, que podría estar relacionado con el cambio de Matorral a Herbazal que presenta la misma dinámica bajo los 250 m para los sectores de Río Exploradores y Norte y Bahía Exploradores, en tanto para el sector de Río Tranquilo este cambio es mayor sobre los 250 m, debido a que este sector es el que presenta mayores niveles de intervención antrópica. La superficie que se mantiene como Herbazal corresponde principalmente a zonas sobre los 250 m, congruente con la existencia de estepa patagónica en altura como límite de la vegetación.

Se propone que este y otros efectos relacionados a la presencia y expansión de Herbazales en los sectores bajos del Valle Exploradores sean estudiados en base a muestreos locales periódicos y a una escala temporal y espacial de mayor resolución en relación al uso histórico del suelo, con el fin de comprender no sólo el paisaje ecológico sino también el paisaje cognitivo.

## 7 REFERENCIAS

- Aguayo, M., Pauchard, A. A., & Parra, O. (2009). Land use change in the south central Chile at the end of the 20th century: Understanding the spatio-temporal dynamics of the landscape. *Revista Chilena de Historia Natural N°82(3)*, 361-374.
- Arenas, F., Salazar, A., & Núñez, A. (2011). El Aislamiento Geográfico: ¿problema u oportunidad? Experiencias, interpretaciones y políticas públicas. Santiago de Chile: Serie Geolibros N°15, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Armesto, A., & León, P. y. (1997). Los bosques templados del sur de Chile y Argentina: una isla biogeográfica. En A. Armesto, J. Villagrán, & M. C. Arroyo, *Ecología de los Bosques Nativos de Chile* (págs. 71-92). Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Armesto, J., Villagrán, C., & Donoso, C. (1994). Desde la era glacial a al industrial. La historia del bosque templado chileno. *Ambiente y Desarrollo, Marzo*, 66-72.
- Ashworth, A., Markgraf, V., & Villagran, C. (1991). Late Quaternary climatic history of the Chilean Channels based on fossil pollen and beetle analyses, with an analysis of the modern vegetation and pollen rain. *Journal of Quaternary Science, vol. 6, i. 4*, 279-291.
- Banco Central de Chile. (2016). *Producto interno bruto por región*. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/Excel/CCNN/regional/excel.html
- Bizama, G., Torrejón Godoy, F., Aguayo Arias, M., Muñoz, M. D., Echeverría, C., & Urrutia, R. (2011). Pérdida y fragmentación del bosque nativo en la cuenca del río Aysén (Patagonia Chile) durante el siglo XX. *Revista de Geografía Norte Grande N°49*, 125-138.
- Bolós, M. D. (1992). La evolución o arqueología del paisaje. En M. D. Bolós, *Manual de Ciencia del Paisaje. Teoría, métodos y aplicaciones* (págs. 191-203). Barcelona, España: Masson S.A.
- Börgel, R. (1992). Evidencias del llamado efecto invernadero en las regiones australes de Chile. Revista de Geografía Norte Grande N°19, 97-103.
- Börgel, R., Georgudis, B., Ortiz, J., & Velozo, L. (1992). Geografía física y humana de la XI Región de Chile y sus zonas pantanosas. Perspectivas de ordenamiento ambiental. *Revista de Geografía Norte Grande N°19*, 105-119.
- Borsdorf, F., Pelenc, J., Reutz, B., Le Tourneau, F., Velut, S., & Coy, M. (2014). The contribution of Biosphere Reserves to regional sustainability: an institutional approach. *International Journal of Sustainable Society 6(1)*, 60-81.
- Brabyn, L., & Mark, D. (2011). Using viewsheds, GIS, and a landscape classification to tag landscape photographs. *Applied Geography*, *N°31*, 1115-1122.

- Bustamante, R., & Grez, A. (1995). Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ambiente y Desarrollo, vol. 11, N°2*, 58-63.
- Camacho-Sanabria, J., Juan Pérez, J., Pineda, B., Cadena, E., Bravo, L., & Sánchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera bosques, vol. 21, n°1*, 93-112.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio.*Barcelona: Ariel Ciencia.
- CONAF/UACh. (2012). Sistema de Información Territorial Región de Aisén. Obtenido de Monitoreo de Cambios, Corrección Cartográfica y Actualización del Catastro de Bosque Nativo en la XI Región de Aisén 1996-2011: http://sit.conaf.cl/exp/ficha.php
- Congalton, R. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment, vol.37*, 35-46.
- Corvalán, J. (1965). Geografía. En *Geografía económica de Chile* (págs. 35-97). Santiago, Chile: Corporación de Fomento de la Producción.
- Di Castri, F., & Hajek, E. (1976). Bioclimatología de Chile. Santiago: Universidad Católica de Chile.
- Donoso, C. (1993). Bosques templados de Chile y Argentina: variación, estructura y dinámica. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Donoso, C. (2006). *La especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología.* Valdivia, Chile: Marisa Cuneo Ediciones.
- Echeverria, C., Coomes, D., Salas, J., Rey-Benayas, J., Lara, A., & Newton, A. (2006). Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. *Science Direct 130*, 481-494.
- Echeverría, C., Newton, A., Lara, A., Rey-Benayas, J., & Coomes, D. (2007). Impacts of forest fragmentation on species composition and forest structure in the temperate landscape of southern Chile. *Global Ecology and Biogeography*, *16*, 426-439.
- Echeverría, C., Newton, A., Nahuelhual, L., & Coomes, D. R.-B. (2012). How landscapes change: Integration of spatial patterns and human processes in temperate landscapes of southern Chile. *Applied Geography 32*, 822-831.
- Escribano, M. (1991). El Paisaje. Madrid: Minsiterio de Obras Públicas y Transportes.
- Fahrig, L. (2005). When is a landscape perspective important? En S. i. Ecology, *Issues and Perspectives in Landscape Ecology* (págs. -11). New York, USA: Wiens, J; Moss, M. (eds.) Cambridge University Press.

- FAO. (1996). Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Farina, A. (2004). The eco-field: a new paradigm for landscape ecology. *Ecological Research 19*, 107-110.
- Farina, A. (2006). *Principles and methods in landscape ecology. Towards a science of landscape.*Netherlands: Springer.
- Forman, R., & Godron, M. (1986). Landscape Ecology. New York, EE.UU.: Wiley.
- Gajardo, R. (1993). *La vegetación natural de Chile: clasificación y distribución geográfica.*Santiago de Chile: Universitaria.
- García, M., Arturi, M., & Ansín, O. (2002). Variabilidad fenotípica y genética en poblaciones de Pasto Miel (Paspalum dilatatum Poir.). *Agricultura Técnica N°62(2)*, 237-244.
- Gobierno de Chile. (2014). *Avances del Plan Aysén.* Coyhaique: Programa Chile Avanza con las Regiones.
- Grez, A., Simonetti, J., & Bustamante, R. (2006). *Biodiversidad en Ambientes Fragmentados de Chile: Patrones y Procesos a Diferentes Escalas.* Santiago: Editorial Universitaria.
- Grosse, J. (1955). Visión de Aisén. Expediciones del Explorador Juan Augusto Grosse. Santiago de Chile: Instituto Geográfico Militar.
- Grosse, J. (1986). Visión Histórica y Colonización de la Patagonia Occidental. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas.
- Guiñez, H. (1997). La estrategia de desarrollo de la XI Región de Aysén: Un enfoque geográfico. Revista de Geografía Norte Grande N°24, 59-64.
- Haber, W. (2004). Landscape ecology as a bridge from ecosystems to human ecology. *Ecological Resaerch* 19(1), 99-106.
- Heusser, C. (1974). Vegetation and climate of the southern Chilean lake district during and since the last interglaciation. *Quaternary Research 4*, 290-315.
- Laita, A., Kotiaho, J., & Monkkonen, M. (2011). Graph-theoretic connectivity measurement: what do they tell us about connectivity? *Landscape Ecology, Vol. 26*, 951-967.
- Landis, R., & Koch, G. (1977). The Measurement Of Observer Agreement For Categorical Data. *Biometrics 33(1)*, 159-174.
- Lara, A., Cortés, M., & Echeverría, C. (2000). Bosques. En O. Sunkel, *Informe país: estado actual del medio ambiente en Chile*. (págs. 131-173). Santiago de Chile: Centro de Estudios de Políticas Públicas, Universidad de Chile.

- Lindenmayer, D. (2006). En A. Grez, J. Sominetti, & R. Bustamante, *Biodiversidad en ambientes* fragmentados de Chile: patrones y procesos a diferentes escalas (pág. 11). Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Lindenmayer, D., & Fischer, J. (2006). *Habitat fragmentation and landscape change: an ecological and conservation synthesis.* Washington, EE.UU.: Island Press.
- Litton, R. (1973). Landscape Control Points: A Procedure for Predicting and Monitoring Visual Impacts. California, U.S.A.: U.D. Agriculture.
- Liu, J., & Taylor, W. (2002). *Integrating landscape ecology into natural resource management*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Luebert, F., & Pliscoff, P. (Segunda edición 2018). *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Santiago de Chile: Universitaria.
- Martinic, M. (2007). De la Trapananda al Aysén. Una mirada reflexiva sobre el acontecer de la Región de Aysén desde la Prehitoria hasta nuestros días. *Revista de Geografía Norte Grande N°37*, 89-94.
- Martinic, M. (2014). De la Trapananda al Aysén. Santiago, Chile: Grafic Suisse. Segunda edición.
- Maturana, H. (1999). The organization of the living: a theory of the living organization. *Human-Computer Studies 51*, 149-168.
- McGarigal, K., & Cushman, S. (2012). FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Obtenido de Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst:

  http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html
- Ministerio de Obras Públicas Región de Aysén. (enero de 2018). Construcción Pasarela Exploradores.
- Nassauer, J. (1995). Culture and changing landscape structure. *landscpae Ecology, vol. 10, N°4*, 229-237.
- Otavo, S., & Echeverría, C. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hostspots mundiales de biodiversidad. *Revista Mexicana de Biodiversidad N°88*, 924-935.
- Paskoff, R. (1970). *Recherches geomorph bio-logiques dans le Chili semi-aride*. Bordeaux: Biscaye Fréres.
- Pauchard, A., Aguayo, M., & Alaback, P. (2006). Cuantificando la fragmentación del paisaje: las métricas y sus significados ecológicos. En A. Grez, J. Simonetti, & R. Bustamante, *Biodiversidad en ambientes fragmentados de Chile: patrones y procesos a diferentes escalas* (págs. 41-68). Santiago, Chile: Editorial Universitaria.

- Peyras, M., Vespa, V., Bellocq, M., & Zurita, G. (2013). Quantifying edge effects: the role of habitat contrast and species specialization. *Journal of Insect Conservation*, *17*, 807-820.
- Pomar, J. (1923). *La concesión de Aisén y el Valle Simpson*. Obtenido de www.memoriachilena.cl: http://www.memoriachilena.cl/archivos2/pdfs/MC0012978.pdf
- Pontius, R., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes. Science Direct. Agriculture, Ecosystems and Environment 101, 251-268.
- Reiche, K. (1934). *Geografía botánica de Chile, 1860-1920. Vol. I.* Santiago: Imprenta Universitaria.
- Rempel, R., Kaukinen, D., & Carr, A. (2012 (2015)). *Patch Analyst and Patch Grid*. Obtenido de Spatial ecology program. Centre for northern forest ecosystem research. Thunder Bay, Ontario, Canadá: http://cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/
- Romero, D. (2013). Construcción histórica de la Ocupación del Valle Exploradores a través de la experiencia de sus habitantes (1900-2013). Santiago, Chile: Seminario de Grado II, Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Sagredo, E. (2016). Análisis temporal de detección de cambios e índices de fragmentación en cubiertas de vegetación nativa del sitio prioritarios Cordón de Cantillana. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Sandoval, J. (2012). Memoria de Título Arquitectura. *Puerto Turístico Bahía Exploradores XI Región de Aysén*. Santiago: Universidad de Chile.
- Segura, A., Holmgren, M., Anabalón, J., & Fuentes, R. (1998). The siginificante of fire intensity in of nine species forming soil seed banks within the Sydney region. *Austral Ecology n°28*, 674-683.
- Simonetti, J., & Armesto, J. (1991). Conserva-tion of temperate ecosystems in Chile: coarse versus fine-filter approaches. *Revista Chilena de Historia Natural N°64*, 615-626.
- Simpson, E. (1875). Esploraciones hechas por la corbeta Chacabuco al mando del capitan de fragata D. Enrique M. Simpson en los archipielagos de las Guaitecas, Chonos i Taitao. 3-147: Anuario Hidrográfico de la Marina de Chile n°1.
- Steffen, H. (1909). Viajes de exploración i estudio en la Patagonia occidental 1892-1902 por el Dr. Hans Steffen. Vol. II. Santiago: Imprenta Cervantes.
- Stonier, T. (1996). Information as a basic property of the universe. *BioSystems 38*, 135-140.
- Teillier, S., & Marticorena, C. (2002). Riqueza Florística del Parque Nacional Laguna San Rafael, XI Región, Chile. *Boletín del Museo de Historia Natural N°51*, 43-73.
- Thomas, M. (2001). Landscpae sensivity in time and space. An introduction. *Catena 42*, 83-98.

- Turner, M., & Cardille, J. (2007). Spatial heterogeneity and ecosystem processes. En S. i. Ecology, Key Topics in Landscape Ecology (págs. 62-77). New York, USA: Wu, J. ed.; Hobbs, R. (eds.) Cambridge University Press.
- UNESCO. (1996). UNESCO MAB Biosphere Reserves Directory. Obtenido de Biosphere Reserve Information:

  http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?mode=all&code=CHI+04
- Vázquez-Quintero, G., Pinedo-Álvarez, A., Maniarrez- Domínguez, C., León-Mata, G., & Hernández-Rodríguez, A. (2012). Análisis de la fragmentación de los bosques templados usando sensores remotos de media resolución espacial en Pueblo Nuevo, Durango. *Tecnociencia Chihuahua 7(2)*, 88-98.
- Velázquez, A., Mas, J., Díaz Gallegos, J., Mayorga Saucedo, R., Alcántara, P., Castro, R., . . . Palacio, J. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*: 62, 20-62.
- Vila, J., Varga, D., Llausas, A., & Ribas, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (Landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Doc. Anal. Geogr. 48*, 151-166.
- Villagran, J., Núñez, A., & Hidalgo, R. (1997). Políticas Públicas y Ocupación del Territorio en la Región de Aysén. *Revista de Geografía Norte Grande N°24*, 11-18.
- Wade, T., Riitters, K., Wickham, J., & Jones, K. (2003). Distribution and causes of global forest fragmentation. *Conservation Ecology 7(2):7*, [online] URL: http://www.consecol.org/vol7/iss2/art7/.
- Wiegand, E., Revilla, K., & Moloney, K. (2005). Effects of habitat loss and fragmentation on population dynamics. *Conservation Biology*, *19*, 108-121.

# 8 ANEXOS

# 8.1 ANEXO 1. Matrices de confusión (ENVI 5.3)

# <u>Año 1 - 1987</u>

Overall Accuracy = (22099/24776) 89.1952%  Kappa Coefficient = 0.8676  Class imal84_cl_entimal84_c2_entimal84_c4_entimal84_c6_entimal84_c7_ent  Unclassified	Confusion Matrix	: D:\TESIS\IM	G_SAT\L5\MOSAI	CO_84_87\REC\M	ILC 84b envi	_v2	
Class	Overall Accuracy	= (22099/247					
Class   inal84_cll_eminal84_c8_ent	Unclassified ima184_c1_tes ima184_c2_tes ima184_c4_tes ima184_c6_tes ima184_c7_tes ima184_c11_te ima184_c8_tes	184_c1_entima 0 6519 236 0 0 0 109	184_c2_entimal 0 68 2378 215 0 12 0	0 0 36 2439 0 40 844	0 0 2 60 2 4 0	0 0 116 1 2569 336 191	
Class   ima184_cl_entima184_c2_entima184_c4_entima184_c6_entima184_c7_ent	Unclassified ima184_c1_tes ima184_c2_tes ima184_c4_tes ima184_c6_tes ima184_c7_tes ima184_c11_te ima184_c8_tes	184_c11_enima 0 0 0 9 53 9 3491 0	184_c8_ent 0 0 0 0 2 392 0 4643	0 6587 2650 2781 116 3012 4796 4834			
Class   ima184_cl_tes   0.00   0.00   0.00   0.00   ima184_cl_tes   0.00   0.00   0.00   0.00   ima184_cl_tes   0.00   0.00   0.00   10.70   ima184_cl_tes   0.25   0.00   10.70   ima184_cl_tes   0.25   0.00   11.22   ima184_cl_tes   0.25   0.00   11.22   ima184_cl_tes   0.25   7.78   12.16   ima184_cl_tes   0.00   92.18   19.51   ima184_cl_tes   0.00   92.18   19.51   ima184_cl_tes   0.00   92.18   19.51   ima184_cl_tes   0.00   0.00   100.00   100.00   100.00   I00.00   I0	Unclassified ima184_c1_tes ima184_c2_tes ima184_c4_tes ima184_c6_tes ima184_c7_tes ima184_c11_te ima184_c8_tes	184_c1_entima 0.00 94.97 3.44 0.00 0.00 0.00 1.59 0.00	184_c2_entima1 0.00 2.54 88.96 8.04 0.00 0.00 0.45 0.00	0.00 0.00 1.07 72.61 0.00 1.19 25.13 0.00	0.00 0.00 0.00 2.94 88.24 2.94 5.88 0.00	0.00 0.00 0.00 3.61 0.03 79.96 10.46 5.94	
Percent   (Percent)   (Pixels)   (Pixels)	<pre>ima184_c1_tes ima184_c2_tes ima184_c4_tes ima184_c6_tes ima184_c7_tes ima184_c11_te ima184_c8_tes</pre>	L84_c11_enima 0.00 0.00 0.00 0.25 1.49 0.25 98.01 0.00	184_c8_ent 0.00 0.00 0.00 0.00 0.04 7.78 0.00 92.18	0.00 26.59 10.70 11.22 0.47 12.16 19.36 19.51			
Percent   (Percent)   (Pixels)   (Pixels)	ima184_c1_tes ima184_c2_tes ima184_c4_tes ima184_c6_tes ima184_c7_tes ima184_c11_te	(Percent) 1.03 10.26 12.30 48.28 14.71 27.21	(Percent) 5.03 11.04 27.39 11.76 20.04 1.99	(Pixel 68/65 272/26 342/27 56/1 443/30 1305/47	s) 87 50 81 16 12 96	(Pixels) 345/6864 295/2673 920/3359 8/68 644/3213 71/3562	
	ima184_c1_tes ima184_c2_tes ima184_c4_tes ima184_c6_tes ima184_c7_tes ima184_c11_te	(Percent) 94.97 88.96 72.61 88.24 79.96 98.01	(Percent) 98.97 89.74 87.70 51.72 85.29 72.79	(Pixel 6519/68 2378/26 2439/33 60/ 2569/32 3491/35	s) 64 73 59 68 13 62	(Pixels) 6519/6587 2378/2650 2439/2781 60/116 2569/3012 3491/4796	

# Año 2 – 1999

Confusion Mat	rix: D:\TESIS\	IMG_SAT\L5\09	9NOV1999\REC\	HLC_IMA2_99.TI	F
Overall Accur Kappa Coeffic	acy = (153681/ ient = 0.7710	190717) 80.5	807%		
Class Unclassified ima2_cl_test ima2_c2_test ima2_c5_test ima2_c5_test ima2_c6_test ima2_c6_test ima2_c6_test ima2_c6_test ima2_c7_test ima2_c7_test ima2_c7_test ima2_c7_test ima2_c7_test ima2_c7_test	3594 155 0 400 880	uth (Pixels) ima2_c2_entr 0 511 32030 4144 5542 307 8 0 1987 249 44778	ima2_c4_entr 0 0 102 10327 2 6 328 407 801 0 11973	ima2_c5_entr 0 1 366 4 3590 60 0 0 3 3 3 3697	0 3 225 0 11017 0 0 21 55
Class Unclassified ima2_cl_test ima2_cl_test ima2_cl_test ima2_cf_test ima2_cf_test ima2_c7_test ima2_c7_test ima2_c8_test ima2_c1_test ima2_c1_test ima2_c1_test ima2_c1_test ima2_c1_test	ima2_c7_entr 0 33 1484 0 0 24123	uth (Pixels) ima2_c8_entr 0 2 1766 0 0 6929 39317 5077 0 53091	ima2_c9_entr; 0 0 0 194 0 137 62 13234 0 13627	0 11 67 252 12 2037 239	31764 40334
Class Unclassified ima2 cl test ima2 c2 test ima2 c5 test ima2 c5 test ima2 c6 test ima2 c6 test ima2 c6 test ima2 c7 test ima2 c11 test	ima2_c1_entr 0.00 57.61 2.48 0.00 6.41 14.11 0.00	th (Percent) ima2_c2_entr 0.00 1.14 71.53 9.25 12.38 0.69 0.02 0.00 4.44 0.56 100.00	ima2_c4_entr 0.00 0.00 0.85 86.25 0.02 0.05 2.74 3.40 6.69 0.00	ima2_c5_entr 0.00 0.03 0.97 0.11 97.11 1.62 0.00 0.00 0.08 0.08 100.00	ima2_c6_entr 0.00 0.00 0.03 1.99 0.00 97.31 0.00 0.00 0.19 0.49
Class Unclassified ima2_c1_test ima2_c2_test ima2_c5_test ima2_c5_test ima2_c7_test ima2_c7_test ima2_c9_test ima2_c1_test ima2_c1_test ima2_c1_test ima2_c1_test ima2_c1_test	0.00 0.12 5.54	0.00 0.00 3.33 0.00 0.00 13.05 74.06 9.56	0.00 0.00 1.42 0.00 1.01 0.45	0.00 0.06 0.35 1.31 0.06 10.59 1.24 0.01	Total 0.00 2.16 17.00 9.65 5.01 7.50 16.66 21.15 11.46 9.42 100.00
Class ima2_c1_test ima2_c4_test ima2_c4_test ima2_c5_test ima2_c5_test ima2_c7_test ima2_c7_test ima2_c9_test ima2_c9_test ima2_c11_test	(Percent) 12.70 1.23 43.86 62.39 23.00 24.06	Omission (Percent) 28.47 13.75 2.89 2.69 9.86 25.94 2.88 14.46	(F 52 398 8069 595 3290 7641 1017 8626	nission Pixels) 33/4117 /32428 /18396 66/9546 /14307 /31764 /40334 //21860 //17965	Omission (Pixels) 2644/6238 12748/44778 1646/11973 107/3697 304/11321 2640/26763 13774/53091 393/13627 2780/19229
Class ima2_c1_test ima2_c2_test ima2_c2_test ima2_c5_test ima2_c6_test ima2_c7_test ima2_c9_test ima2_c9_test ima2_c11_test	(Percent) 57.61 71.53 86.25 97.11	User Acc. (Percent) 87.30 98.77 56.14 37.61 77.00 75.94 97.48 60.54 91.56	(F 359 3203 10327 359 11017 24123 39317 13234	l. Acc. lixels) 44/6238 44/44778 1/1973 10/1973 1/13697 1/13621 1/26763 1/13627 1/13627 1/19229	User Acc. (Pixels) 3594/4117 32030/32428 10327/18396 3550/9546 11017/14307 24123/31/64 39317/40334 13234/21860 16449/17965

# Año 3 – 2011

Confusion Mat	rix: D:\TESIS\	IMG_SAT\L7\19	FEB2011\FIR_E	ESP\REC\MLC_E	NVI_IMA3.TIF
Overall Accura Kappa Coeffici	acy = (227534/ lent = 0.8899	249755) 91.1	1029%		
Class Unclassified ima3_cl_entr ima3_c2_entr ima3_c5_entr ima3_c5_entr ima3_c7_entr ima3_c8_entr ima3_c8_entr ima3_c9_entr ima3_c9_entr ima3_c1_entr Total	ima3_c1_test 0 10818 244 0 51 57 0	uth (Pixels) ima3_c2_test 0 6 58624 3440 1427 242 175 0 0 470 64394	ima3_c4_test 0 19 897 19178 329 0 0 37 0 8 20468	ima3_c5_test 0 0 0 4 2398 0 0 0 2402	ima3_c6_test 0 0 0 0 325 7211 19 53 0 7613
Class Unclassified ima3_cl_entr ima3_c2_entr ima3_c5_entr ima3_c5_entr ima3_c6_entr ima3_c8_entr ima3_c8_entr ima3_c8_entr ima3_c8_entr ima3_c8_entr ima3_c8_entr ima3_c1_entr ima3_c1_entr	0 195 2933 690 1117 22651	uth (Pixels) ima3_c8_test 0 0 12 407 0 51 138 70533 2755 0 73896	ima3_c9_testi 0 0 0 0 0 0 2 28 7 22 3035 0 3092	ima3_c11_test 0 40 0 2 636 140 73 0 0 33086 33977	0 10893 59972 25964 5856 8846 23063 72984
Class Unclassified ima3_cl_entr ima3_c2_entr ima3_c5_entr ima3_c5_entr ima3_c6_entr ima3_c8_entr ima3_c8_entr ima3_c9_entr ima1_entr ima_c1_entr	ima3_c1_test 0.00 81.17 1.83 0.00 0.38 0.43 0.00 0.00	th (Percent) ima3_c2_test 0.00 0.02 91.04 5.34 2.22 0.38 0.27 0.00 0.73 100.00	ima3_c4_test 0.00 0.09 4.38 93.70 1.61 0.00 0.00 0.18 0.00 0.04 100.00	0.00 0.00 0.00 0.17 99.83 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00 0.00 4.27 94.72 0.25 0.70 0.07
Class Unclassified ima3_cl_entr ima3_c2_entr ima3_c5_entr ima3_c5_entr ima3_c6_entr ima3_c6_entr ima3_c8_entr ima3_c9_entr ima3_c9_entr ima3_c1_entr Total	ima3_c7_test 0.00 0.00 0.64 9.59 2.26 3.65 74.06 7.65	th (Percent) ima3_c8_test 0.00 0.00 0.02 0.55 0.00 0.07 0.19 95.45 3.73 0.00 100.00	ima3_c9_test; 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.91 0.23 0.71 98.16 0.00 100.00	0.00 0.12 0.00 0.01 1.87 0.41 0.21 0.00 97.38	9.23 29.22 2.58 14.30
Class ima3_c1_entr ima3_c2_entr ima3_c4_entr ima3_c5_entr ima3_c5_entr ima3_c7_entr ima3_c8_entr ima3_c9_entr ima_c11_entr	(Percent) 0.69 2.25 26.14 59.05 18.48 1.79 3.36 52.95	Omission (Percent) 18.83 8.96 6.30 0.17 5.28 25.94 4.55 1.84 2.62	(I 75 1348 6788 345 163 412 2453	mission Pixels) 5/10893 8/59972 8/25964 88/5856 55/8846 2/23063 1/72984 16/6451	Omission (Pixels) 2510/13328 5770/64334 1290/20468 4/2402 402/7613 7934/30855 3363/73896 57/3092 891/33977
Class ima3_c1_entr ima3_c2_entr ima3_c4_entr ima3_c5_entr ima3_c6_entr ima3_c6_entr ima3_c9_entr ima3_c9_entr ima3_c9_entr	(Percent) 81.17 91.04 93.70 99.83 94.72 74.06	User Acc. (Percent) 99.31 97.75 73.86 40.95 81.52 98.21 96.64 47.05 92.61	(F 10816 58627 19176 239 721 22651 70533	1. Acc. Pixels) 21xels) 21xels) 21xels) 220468 28x2402 117613 273896 35/3092 5/33977	User Acc. (Pixels) 10818/10833 58624/59972 19178/25964 2398/5856 7211/8846 22651/23063 70533/72984 3305/6451 33086/35726

# Año 4 – 2015

Confusion Mat				CLAS_IMA4.TIF	
Overall Accura Kappa Coeffic					
Class Unclassified ima4_cl_entr ima4_c2_entr ima4_c5_entr ima4_c5_entr ima4_c7_entr ima4_c8_entr ima4_c9_entr ima4_c1_entr ima4_c1_entr	15 0 0	ruth (Pixels) ima4_c2_test 269 37361 1402 3 0 0 0 164 550 39752	ima4_c4_test 0 0 1702 24080 4 109 0 643 20 26558	ima4_c5_test 0 0 0 0 4 0 0 0 4 0 0 4 4 4 4 0 0 4	ima4_c6_test 0 1 9 3 0 953 271 5 34 202 1478
Class Unclassified ima4_cl_entr ima4_c2_entr ima4_c5_entr ima4_c6_entr ima4_c6_entr ima4_c8_entr ima4_c9_entr ima4_c9_entr ima4_c1_entr	0 99 6217 41 35992 552 1409 70 44380	0 0 0 4 0 71 369 34733 3 0 35180	0 10 66 0 18 193 381 5080 212 5960	114 311 87 0 4 11 0 41 5512 6080	
Class Unclassified ima4_cl_entr ima4_c2_entr ima4_c5_entr ima4_c5_entr ima4_c7_entr ima4_c8_entr ima4_c8_entr ima4_c1_entr ima4_c1_entr ima4_c1_entr	92.25 4.34 0.01 0.00 0.02 0.00 0.00	0.68 93.99 3.53 0.01 0.00 0.00 0.41	ima4_c4_test 0.00 0.00 6.41 90.67 0.00 0.02 0.41 0.00 2.42 0.08 100.00	ima4_c5_test	ima4_c6_test 0.00 0.07 0.61 0.20 0.00 64.48 18.34 0.34 2.30 13.67 100.00
Class Unclassified ima4 cl entr ima4 c2 entr ima4 c5 entr ima4 c5 entr ima4 c7 entr ima4 c8 entr ima4 c9 entr ima4 c9 entr ima4 c1 entr	ima4_c7_test 0.00 0.00 0.22 14.01 0.00 81.10 1.24 3.17	ath (Percent) ima4_c8_test 0.00 0.00 0.00 0.01 0.00 0.20 1.05 98.73 0.01 0.00 100.00	ima4_c9_test:	ima4_c11_test	Total 0.00 32.91 17.52 12.89 0.00 0.45 14.95 14.43 2.99 3.85 100.00
Class ima4 c1_entr ima4 c2_entr ima4 c2_entr ima4 c4_entr ima4 c6_entr ima4 c6_entr ima4 c7_entr ima4_c9_entr ima4_c1_entr	(Percent) 0.47 13.71 24.43 55.56 14.07 2.58 2.63 31.24	Omission (Percent) 7.75 6.01 9.33 0.00 35.52 18.90 1.27 14.77 9.34	(1 38 5931 778! 1! 95: 931 231	mission Pixels) 4/81328 5/43297 5/31865 5/9 56/1109 3/36945 3/35671 18/7388	Omission (Pixels) 6788/87742 2391/39752 2478/26558 525/1478 8388/44380 447/35180 880/5960 568/6080
Class ima4_c1_entr ima4_c2_entr ima4_c4_entr ima4_c5_entr ima4_c6_entr ima4_c7_entr ima4_c7_entr ima4_c9_entr ima4_c9_entr ima4_c11_entr	(Percent) 92.25 93.99 90.67 100.00 64.48 81.10 98.73	User Acc. (Percent) 99.53 86.29 75.57 44.44 85.93 97.42 97.37 68.76 57.89	(1 8094 3736: 24081 9! 3599: 3473: 501	1. Acc. Pixels) 4/87742 1/39752 1/26558 4/4 53/1478 2/44380 30/5960 12/6080	User Acc. (Pixels) 80944/8128 37361/43297 24080/31865 4/9 953/1109 35992/36945 34733/35671 5080/7388 5512/9522

# 8.2 ANEXO 2. Matrices de cambio (IDRISI 17.0 Ed. Selva)

## Comparación IMG 1 (1987) / IMG 2 (1999)

Cross-ta	bulation of i	ima1_idr (c	olumns) aga	inst IMA2_	_99b (rows	)					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	255	Total
1	736539	77385	6945	2577	2956	1694	626	74	60188	105	889089
2	66535	145770	25927	1873	3584	14994	1099	1865	28284	88	290019
3	4948	31490	28571	331	3620	34819	2696	3846	8551	134	119006
4	6303	14356	1642	585	1492	1332	21	65	4927	10	30733
5	2455	596	82	43	18760	1556	115	778	22849	45	47279
6	890	8091	9990	200	1043	60546	30764	12210	18878	251	142863
7	698	7948	13427	114	491	68577	244017	10712	4065	764	350813
8	136	1068	2244	40	766	33622	16247	15846	6895	71	76935
9	18472	2616	429	143	2832	2574	623	537	51080	24	79330
255	142	157	102	1	42	242	640	44	46	2654029	2655445
Total	837118	289477	89359	5907	35586	219956	296848	45977	205763	2655521	4681512

# Comparación IMG 2 (1999) / IMG 3 (2011)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	255	Total
1	741141	79263	6221	5796	1503	2008	1391	242	12845	175	850585
2	70840	145980	33975	17004	618	8718	9394	1557	2530	122	290738
3	4779	24328	34302	1556	271	12695	20516	1959	552	96	101054
4	1078	3983	2083	1184	183	2159	579	597	490	9	12345
5	759	5002	5794	742	12336	8107	2563	4257	4361	41	43962
6	1454	13345	28254	1291	2106	72412	80697	39566	3914	331	243370
7	92	495	2558	10	15	18317	221180	10281	125	581	253654
8	40	1512	3280	68	89	12645	12719	16750	441	31	47575
9	68801	16022	2402	3072	30113	5550	1007	1654	54048	31	182700
255	105	89	137	10	45	252	767	72	24	2654028	2655529
otal	889089	290019	119006	30733	47279	142863	350813	76935	79330	2655445	4681512

# Comparación IMG 3 (2011) / IMG 4 (2015)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	255	Total
1	768567	39541	910	461	516	204	7	0	65926	0	876132
2	69648	193904	21562	4156	1605	3428	255	57	15103	4	309722
3	3810	47938	56014	4406	2725	29211	1333	1268	4651	2	15135
4	4	11	2	0	0	0	0	0	2	0	19
5	104	141	81	79	18836	1967	121	171	15943	0	3744
6	713	5311	21225	1760	10588	139568	24262	15821	4349	2	223599
7	24	176	317	85	1877	28470	223847	12127	369	1	26729
8	400	1869	735	1023	4615	39440	3824	18116	4725	0	7474
9	7315	1847	208	375	3200	1082	4	15	71632	0	85678
255	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2655520	265552
tal	850585	290738	101054	12345	43962	243370	253654	47575	182700	2655529	468151