UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

ESCUELA DE POSTGRADO

ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO SOBRE LADERAS DE BOSQUE Y MATORRAL ESCLERÓFILO EN LAS CUENCAS DE QUILLOTA Y CASABLANCA, REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE

Proyecto de grado presentado como parte
de los requisitos para optar al grado de
Magíster en Áreas Silvestres y
Conservación de la Naturaleza

DIEGO FRANCISCO FLORES ARRATE
Ingeniero Forestal

SANTIAGO - CHILE

2009

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza.

Profesor Guía	Nombre	Cristián Estades M.
	Nota	7,0
	Firma	
Profesor Consejero	Nombre	Jaime Hernández P.
	Nota	7,0
	Firma	
Profesor Consejero	Nombre	Marcos Mora G.
	Nota	6,5
	Firma	

A Carolina, Laura y Julieta.

A mis padres y hermanos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado gracias a la colaboración del Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) y la Corporación Nacional Forestal (CONAF), a través de la disposición gratuita de información de los catastros frutícola y de recursos vegetacionales nativos.

Además se contó con el desinteresado y valioso apoyo de la Dra. Adina Merenlender de la University of California, Berkeley, en la constatación y visita de un estudio de caso similar en los valles de Napa y Sonoma, California.

Por último, se hace especial mención al apoyo otorgado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y a la Beca Presidente de la República (CONICYT), como institución patrocinante y auspiciadora, respectivamente, durante el desarrollo de la presente investigación.

RESUMEN

Varias son las fuentes de presión que en la actualidad amenazan el estado de conservación de los ecosistemas de bosque y matorral esclerófilo en Chile central. Se señala como una de tales fuentes la habilitación de suelos para agricultura en laderas. El presente estudio, se centra en describir y analizar dicha situación en dos territorios de importantes cambios agrícolas; las cuencas de Quillota y Casablanca, Región de Valparaíso. Se utilizaron imágenes Landsat de los años 1999 y 2007 de manera de identificar cambios de uso de suelo en general y áreas de habilitación de terrenos agrícolas sobre bosque y matorral esclerófilo en particular.

Se analizaron los cambios de uso de suelo de interés, se evaluaron métricas de paisaje y se ajustaron modelos de regresión logística de manera de identificar variables explicativas del fenómeno bajo estudio. Los modelos se construyeron por separado para ambas cuencas, dadas las diferencias edafoclimáticas y de tipos de cultivo presentes en ambas zonas; palto en Quillota y viñas en Casablanca.

Como resultado se llegó a determinar que el fenómeno de habilitación agrícola sobre bosques no es generalizado, y que los datos no son suficientes para lograr modelos y *mapas de riesgo* de buena predictibilidad. Sin embargo, se identifica que las variables biofísicas que mejor explican la habilitación de terrenos agrícolas sobre áreas de bosque en ladera, son la *pendiente* del terreno y la *distancia a la infraestructura de riego* (canales y embalses) en el caso de Quillota; y la *altitud* y la *distancia a caminos* en Casablanca. Sólo un 0,08% y un 1,5% de los bosques de ladera en Quillota y Casablanca, respectivamente, tendrían una alta probabilidad de sustitución por actividades agrícolas intensivas.

Aunque no analizado en detalle en el presente trabajo, fue posible observar a nivel general una activa reocupación del uso agrícola intensivo de las tierras de fondo de valle, las cuales antaño utilizadas como huertos, praderas de empastada y áreas de barbecho, hoy han ido progresivamente ingresado a una modalidad mas intensiva e industrializada del uso de la tierra. Ello podría haber ejercido en cierta medida, un “efecto tampón provisorio” sobre las laderas de monte, como nuevas áreas de habilitación agrícola.

Diversas consideraciones finales plantean la necesidad de profundizar tales modelaciones, más bien en un sentido mecanístico, incluyendo variables de tipo socioeconómicas.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS……6

ÍNDICE DE CUADROS……7

1. INTRODUCCIÓN……8

2. MÉTODO……11

2.1. Área de estudio
2.2. Cartografía digital, imágenes satelitales y SIG
2.3. Clasificación supervisada

3. RESULTADOS……20

3.1. Dirección de cambios de uso de suelo
3.2. Consecuencias paisajísticas
3.3. Fuerzas inductoras de la habilitación agrícola

4. DISCUSIÓN……31

4.1. Consecuencias paisajísticas
4.2. Fuerzas inductoras y predictibilidad de los modelos
4.3. Proyecciones a futuro

5. BIBLIOGRAFÍA……36

ANEXOS……43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Laderas en cuencas de Quillota y Casablanca…….12

Figura 2. Clasificación supervisada del área de estudio, Cuenca de Quillota……..…15

Figura 3. Clasificación supervisada del área de estudio, Cuenca de Casablanca……..16

Figura 4. Bandas de muestreo en laderas de cerro……..19

Figura 5. Superficie de bosques, matorrales y terrenos agrícolas en laderas Quillota……...21

Figura 6. Superficie de bosques, matorrales y terrenos agrícolas en laderas Casablanca…21

Figura 7. Superficies de habilitación de terrenos agrícolas según clases de uso de suelo…23

Figura 8. Áreas de habilitación agrícola sobre bosque y matorral, Quillota…….…....24

Figura 9. Áreas de habilitación agrícola sobre bosque y matorral, Casablanca……..25

Figura 10. Principales direcciones de cambio de uso de suelo……..27

Figura 11. Mapa de riesgo de habilitación agrícola en bosques de ladera, Quillota……...29

Figura 12. Mapa de riesgo de habilitación agrícola en bosques de ladera, Casablanca……30

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Variables independientes utilizadas como predictores de probabilidad de cambio….18

Cuadro 2. Superficies de ladera y de bandas de muestreo……18

Cuadro 3. Métricas de paisaje para la clase bosques……26

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo existen cinco regiones que comparten una similitud climática de tipo mediterránea. California en Estados Unidos; el área del Cabo en Sudáfrica; la cuenca del Mediterráneo en el sur de Europa, el suroeste de Asia y parte del norte de África; el sur y suroeste de Australia; y Chile central en la costa Pacífica del cono sur latinoamericano.

Las principales características de este patrón climático son la presencia de un período de meses secos, seguido de otro de lluvias torrenciales, y la fluctuación térmica de las temperaturas medias en más de 15ºC entre ambos períodos (Amigo y Ramírez, 1998). Dichas características confieren a estas zonas particularidades tales que, junto a su historia biogeográfica, han determinado composiciones florísticas, tipos vegetacionales y diferentes hábitat de alta singularidad. Es así como a pesar de que estas cinco zonas bajo influencia de clima mediterráneo ocupan sólo un 5% de la superficie terrestre constituyen el hábitat del 20% de la flora vascular mundial (Cowling *et al*. 1996), siendo entonces consideradas como centros mundiales de diversidad florística (Davis *et al*. 1997).

En Chile, la ecorregión mediterránea se sitúa principalmente entre los 31ºS y los 37ºS, extendiéndose por la costa hacia el norte hasta los 23º S, y por el valle central hacia el sur hasta los 39ºS (Amigo y Ramírez, 1998; Luebert y Pliscoff, 2006). La vegetación natural de esta región está representada por matorrales esteparios, matorrales espinosos, bosques espinosos y bosques escleróphilos (Gajardo, 1994). La flora es variada, aunque insuficientemente estudiada. En su área más norteña la flora tiene un origen neotropical, mientras que hacia el sur sus componentes típicos se relacionan con el dominio subantártico del Reino Antártico (Gajardo, 1994). Es así como la flora de Chile central posee una alta proporción de endemismos (Rundel, 1981), los cuales se deberían particularmente a los múltiples cambios sufridos en los períodos Terciario y Cuaternario (Moreno *et al.* 1994; Villagrán 1995), sumados a la actual heterogeneidad topográfica y microclimática del área (Di Castri 1981, Cowling *et al.* 1996). Según el estado actual del conocimiento, la flora nativa vascular de Chile central consta de al menos 2.400 especies (Arroyo *et al.* 1995; Muñoz *et al.* 2005).

Tal destacable condición florística, junto con un activo desarrollo de fuentes de presión y amenazas, ha llevado a que esta región del planeta sea destacada entre los 25 *"hotspots"* de biodiversidad global, constituyéndose en un territorio de alta prioridad de conservación

(Dinerstein *et al*., 1995; Myers *et al*., 2000; Olson y Dinerstein, 2002; Echeverría *et al*., 2006). Es en la porción central y meridional de este *hotspot* donde alcanzan su mayor expresión las formaciones de bosque y matorral esclerófilo de Chile central.

Antaño denominados *"montes"* (tierra inculta cubierta de árboles, arbustos o matas (RAE, 2009)), los bosques y matorrales esclerófilos de Chile central en la actualidad cubren más de 6 millones de hectáreas, entre Choapa y la Araucanía. De ese total, 345 mil hectáreas corresponden a bosque esclerófilo, siendo el resto matorral en diversa expresión fisonómica (CONAF/CONAMA 1997). En la actualidad estas formaciones presentan diversas presiones, tales como cortas ilegales o en contravención a lo autorizado en los planes de manejo, ganadería extensiva no sustentable, incendios, etc., además de una muy baja representatividad en el sistema de áreas silvestres protegidas (Rundel 1981; Balduzzi *et al*, 1982; Vita, 1993, Luebert y Becerra, 1998; Montenegro *et al*., 2004; Donoso, 2006; Pliscoff, 2007).

Diversos autores señalan que una de las fuentes históricas de presión sobre el bosque y matorral esclerófilo, ha sido la dinámica de cambio de uso de suelo para la habilitación de terrenos agrícolas, práctica ampliamente extendida en Chile. La eliminación intensiva de bosques con el fin de incorporar terrenos a la producción agrícola y ganadera, data del siglo XIX, durante los procesos de colonización del sur del país (Camus, 2006; Otero, 2006). Sin embargo, ya a partir del siglo XVIII, es posible reconocer dos elementos clave en apertura de bosques; la ganadería y el cultivo cerealero (Ramírez, 2006). Dicho proceso de transformación dio paso a que durante el siglo XIX, comenzara a establecerse notablemente en la zona central, un paisaje agrícola basado en el cultivo y producción de frutas y viñedos (Balduzzi *et al*., 1982), hoy muchos de escala industrial (Ruiz, 2005; Schonthaler, 2005).

En un comienzo, parte importante de dicha expansión agrícola, se dio en un contexto de escasa regulación, sobre áreas arboladas de fondos de valle y serranías, bajo un esquema intensivo a base de tala y quema de renovales para el establecimiento de áreas de producción. Sin embargo, y paradójicamente ha sido a través de la propia normativa forestal, por medio de un procedimiento legal que lo permite (Art. 22/D.L. 701), que se regularizó dicha actividad, teniendo por finalidad "la recuperación de terrenos para fines agrícolas". Bajo este procedimiento, entre los años 1987 y 1992 se aprobaron numerosos planes de manejo para habilitación agrícola, alcanzando a nivel nacional un total de 80.725 hectáreas de bosque nativo sustituido (CONAF, 1995; 2005).

Para períodos posteriores, los informes de actualización y monitoreo del Catastro del Bosque Nativo señalan nuevas superficies de habilitación agrícola sobre bosques, aunque ya con tasas menores. Es así como en el período 1995-2000, entre las regiones de Valparaíso y de O`Higgins, habrían sido habilitadas unas 22.695,8 há. De éstas, sólo un 3% (692,6 há) habría provenido de la clase bosque nativo (CONAF/CONAMA, 2004). Similar tendencia refleja un estudio realizado en las cuencas de Aconcagua y Casablanca para evaluar la incidencia de cultivos en la fragilidad de laderas (CIREN, 2007). Dicho estudio, para el período 2001-2005, reporta una superficie de cobertura vegetacional reemplazada de 10.634,3 há., de las cuales un 2,9% (313,3 há.) provino de bosque nativo en estado de renoval, mientras que el resto desde matorrales en diverso estado estructural. No obstante, tales cifras de sustitución de bosque nativo podrían aumentar dado el marco de desarrollo tecnológico para el establecimiento de cultivos en ladera y la apertura hacia nuevos mercados, lo que incide en oportunidades comerciales y producto de ello, en necesidades de expansión territorial.

Las proyecciones oficiales calculadas en función de las existencias y del consumo futuro en los mercados internacionales, señalan que en Chile hacia el año 2014, unas 67 mil hectáreas de viñas y otras 10 mil hectáreas de cultivos de palto serían establecidas sobre tierras que en la actualidad tienen un uso extensivo, tales como, tierras en barbecho, praderas naturales, y sustitución de laderas con buena exposición y en ausencia de heladas (ODEPA, 2005; 2007). Esta última constituye la **hipótesis** general del presente trabajo. Las estimaciones sobre estos últimos sectores, podrían verse alteradas toda vez que los escenarios de variabilidad climática proyectados para Chile (Fuenzalida, 2006), señalan la posibilidad de que los cultivos propios de los fondos de valle de la zona central, sufran un desplazamiento territorial, latitudinalmente hacia el sur y altitudinalmente hacia las laderas de cerros. En este contexto, resulta importante identificar y analizar aquellos patrones que orienten sobre cuán extensa podría llegar a ser la habilitación de terrenos agrícolas sobre parches remanentes de bosque y matorral esclerófilo.

En el presente trabajo tiene como **objetivo general** analizar la dinámica de habilitación de terrenos agrícolas a partir de bosques y matorrales esclerófilos en las cuencas de Quillota y Casablanca (Valparaíso). Lo anterior por medio de los siguientes **objetivos específicos**: (1) describir las principales direcciones de cambio de uso de suelo, (2) analizar las principales consecuencias paisajísticas en los parches remanentes de bosque esclerófilo, e (3) identificar las variables biofísicas que más se correlacionan, a los cambios de uso del suelo producidos por habilitación agrícola sobre bosque esclerófilo.

Las cuencas mencionadas combinan importantes núcleos de desarrollo agrícola con superficies remanentes de vegetación esclerófila. En Quillota se ha desarrollado un complejo productivo orientado al cultivo de palta, con más de 7.300 há., (33,7% de la superficie nacional), siendo la principal área de producción de este tipo en el país (Lemus *et al*., 2005). En la cuenca de Casablanca por su parte, se ha desarrollado un complejo productivo vitivinícola, con más de 4.271 há de viñas, (3,3% de la superficie plantada a nivel nacional), correspondiendo entre sus principales cultivos las de cepas blancas tales como; Chardonnay, Sauvignon Blanc, Syrah y Riesling Gewürstraminer (Valenzuela, 2001).

2. MÉTODO

2.1. Área de estudio

El área de estudio comprende las laderas de las cuencas de Quillota y Casablanca, que en conjunto suman una superficie de 153.850 há y cuyas pendientes en promedio fluctúan entre 40-46% y 30-35%, en cada cuenca respectivamente. Dichos territorios se encuentran ubicados tanto en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa de Chile central, como al interior de la misma, en un rango de altitud aproximado entre los 50 y 2.250 m.s.n.m. (Figura 1).

La zona corresponde a un área de clima termomediterráneo seco, que por su ubicación y relieve, recibe la influencia marítima a través de brisas costeras, que actúan como fuerzas moderadoras de las condiciones térmicas (Amigo y Ramírez, 1998). La temperatura media anual es de 15,2℃, aunque existe una importante fluctuación en la amplitud térmica diaria que presentan comparativamente los sectores costeros del área, en relación a los sectores interiores. De ello da cuenta la amplitud térmica de la ciudad de Valparaíso que alcanza en promedio los 5,6ºC, mientras que el mismo parámetro en Quillota alcanza el valor promedio anual de 8ºC. Las precipitaciones se concentran entre los meses de mayo y octubre, con un promedio anual que varia entre 380 y 436 mm, según se este localizado en un punto próximo a la costa o al interior, respectivamente. (Amigo y Ramírez (1998); DMC (2009)).

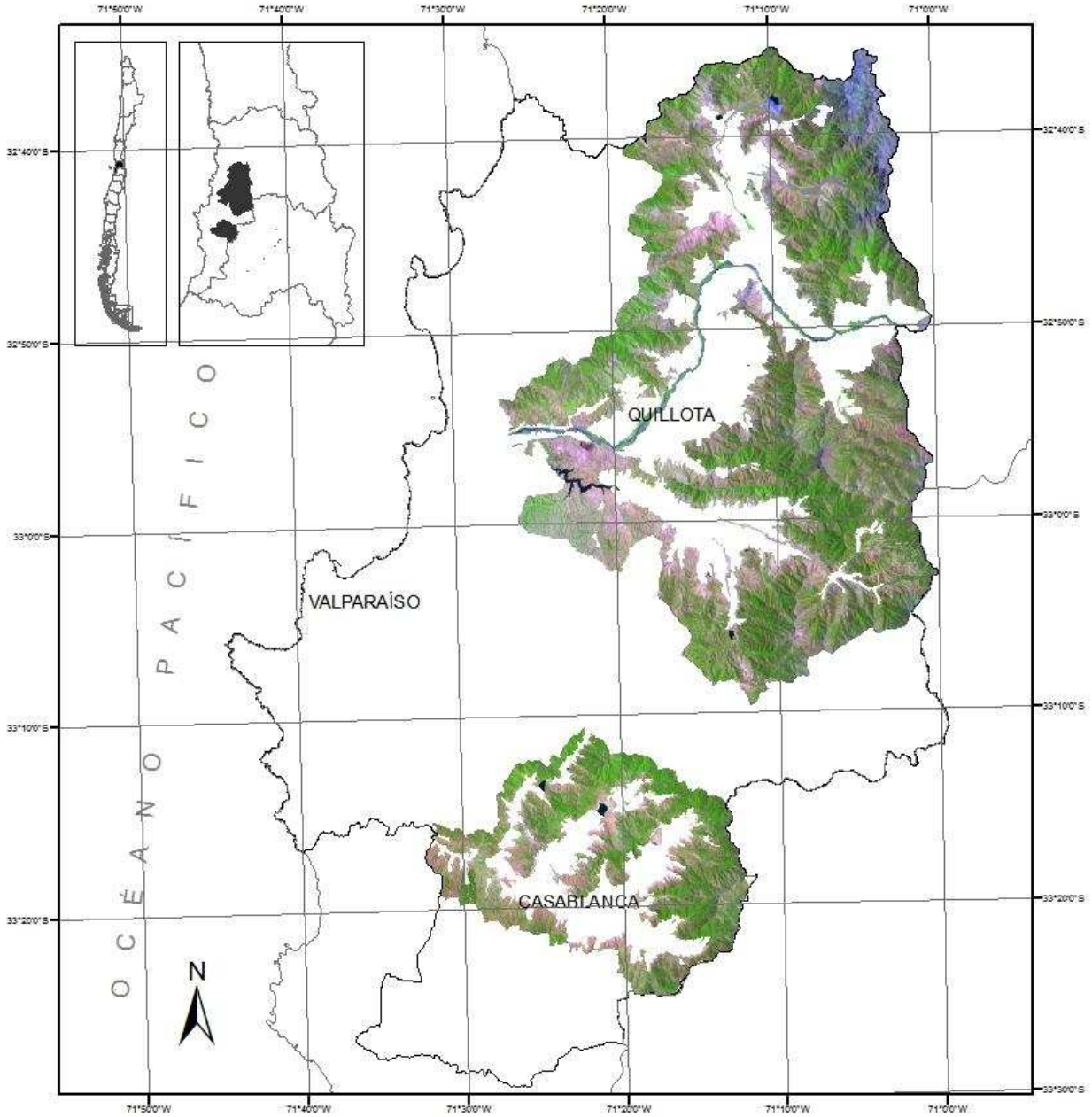

Figura 1. Laderas en cuencas de Quillota y Casablanca

2.2. Cartografía digital, imágenes satelitales y SIG

Para el desarrollo del presente trabajo, se utilizaron dos imágenes satelitales Landsat, correspondientes a los años 1999 y 2007, las cuales fueron obtenidas desde el servidor *Earth Science Data Interface* de la Universidad de Maryland y desde bases de datos de la Universidad de Chile.

Adicionalmente a las imágenes satelitales, se recopiló y utilizó información cartográfica digital de diversas variables que pudieran explicar los patrones de cambio del uso de suelo. Es así como se recurrió a bases de datos tales como; la cartografía base del Instituto Geográfico Militar (IGM, 2000), el Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile CONAF/CONAMA (1997), el Catastro Frutícola V Región, CIREN (2006), el Catastro Vitícola, SAG (2005), la red de canales y embalses de la Comisión Nacional de Riego (2005) y estudios agrológicos para la Región de Valparaíso, CIREN (1997), entre otros. Para el procesamiento de la información se utilizaron diferentes programas de análisis y modelación espacial tales como; Erdas 8.5, Idrisi 15.0, ArcGis 9.2 y Fragstats 3.3. Para los análisis estadísticos y el manejo de bases de datos, se utilizó el entorno de programación R.

Una vez colectada la información cartográfica digital, se procedió a ordenarla bajo un proyecto SIG, disponiendo todas las cartografías bajo la proyección UTM Huso 19 S, datum WGS84.

A partir de la edición de cartas de curvas de nivel cada 50 m, escala 1:50.000, se generó un modelo digital de elevación (DEM) para el área en estudio. Dicho proceso se desarrolló con una resolución espacial de 30 metros, compatible con la de las imágenes Landsat. A partir de la construcción del DEM, se generaron las cartografías digitales de pendiente y exposición.

Debido a las diferencias temporales y a los errores propios de transmisión de datos en teledetección, las imágenes satelitales fueron preprocesadas a través de métodos estándares de corrección geométrica (corregistro) y radiométrica (efecto neblina o haze) (Graziani y Karszenbaum, 2007; Hernández, 2007). Ambas imágenes fueron corregistradas bajo el método del vecino más cercano, en base a puntos de control conocidos desde la cartografía base de caminos. Dicho trabajo fue realizado en ambiente Erdas 8.5. El error total RMS de la corrección en ambas imágenes fue menor a 15 m. Posteriormente, con el propósito de ajustar los niveles digitales de las imágenes a composiciones ideales para hacer más precisas las comparaciones y análisis entre las imágenes satelitales, se procedió a corregirlas radiométricamente, aplicando en Idrisi 15.0, un algoritmo de corrección radiométrica básica, consistente en eliminar el efecto neblina.

2.3. Clasificación supervisada

Hechas las respectivas correcciones geométricas y radiométricas, se realizó la clasificación supervisada de ambas imágenes, en base a la combinación de bandas 5/4/3 por la mejor comprensión visual que dicha combinación espectral ofrecía en función de las categorías o clases de suelo definidas y tratadas en el presente estudio.

Las clases de uso de suelo consideradas en el proceso de clasificación para el presente estudio fueron las siguientes; cuerpos de agua (W), praderas (P), matorrales (M), bosques (B), terrenos agrícolas (A), áreas urbanas/industriales (U), arenas y dunas (S), afloramientos rocosos (R) y áreas quemadas por incendios forestales (Q).

Realizadas ambas clasificaciones, y en base a 232 puntos de control, se evaluó la precisión de éstas en matrices de confusión y su nivel de concordancia por medio del cálculo del índice *Kappa*. Los puntos de control fueron obtenidos desde dos fuentes; para el año 1999, desde fotografías aéreas color 1:115.000 del proyecto "Actualización y Monitoreo del Catastro del Bosque Nativo" CONAF/CONAMA, y para el año 2007, desde inspección visual detallada de puntos en el servidor Google Earth.

Con el fin de determinar las superficies de intercambio entre las diferentes categorías de cada cuenca, se realizó un análisis de tabulación cruzada (cross tab) entre las imágenes clasificadas, para los años 1999 y 2007.

Luego, para analizar comparativamente la posible variación de la situación de fragmentación y conectividad de la clase bosques en las áreas y período bajo estudio, se estimaron para esa clase los siguientes índices de paisaje*:* número de parches a nivel de clase (NP), área total de la clase (ST) y tamaño medio de los parches de la clase (MPS). Estos cálculos fueron realizados en Fragstats 3.3.

En las figuras 2 y 3 se presentan los resultados gráficos de la clasificación supervisada de las imágenes Landsat, para las cuencas de Quillota y Casablanca, denotándose las áreas de habilitación agrícola en el período 1999 – 2007.

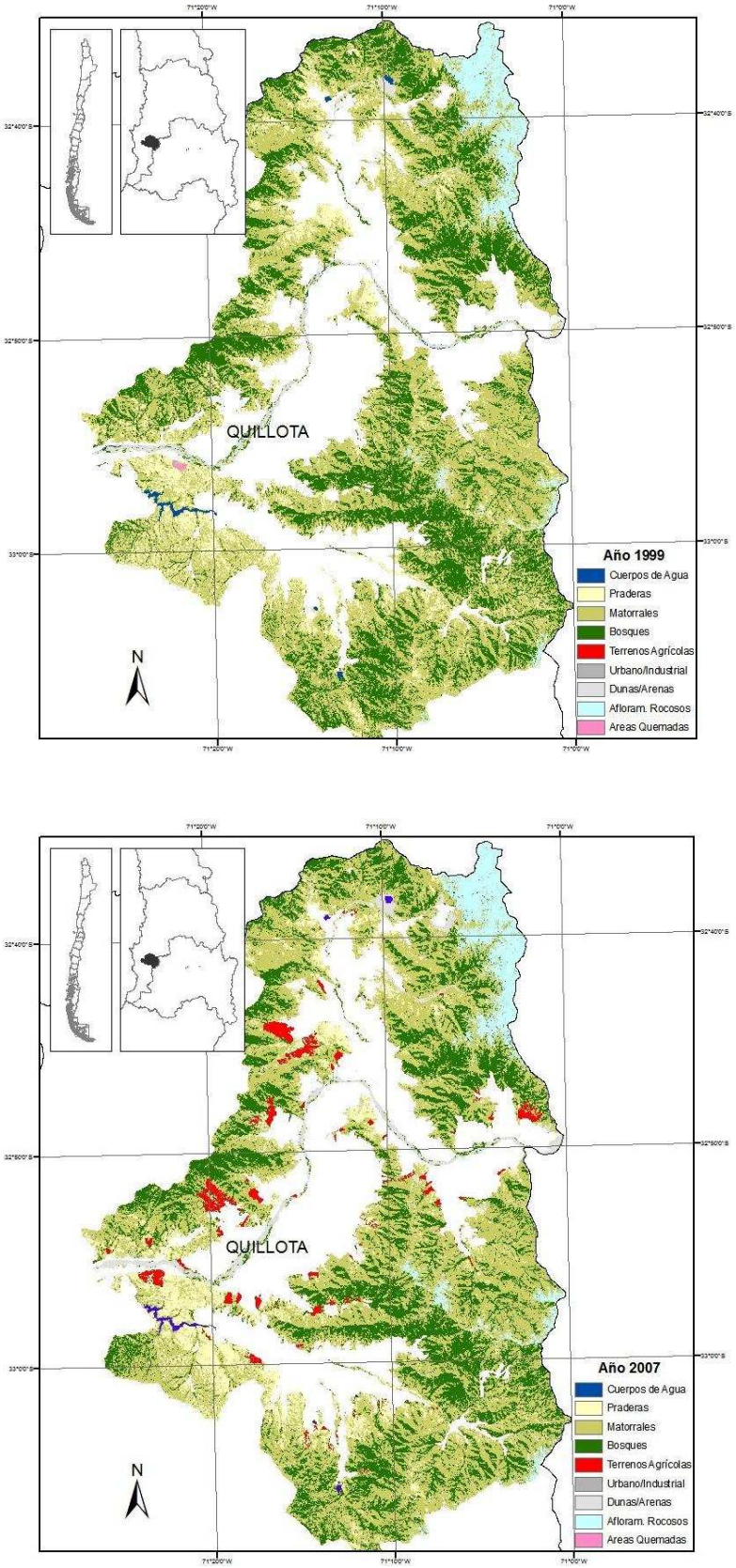

Figura 2. Clasificación supervisada del área de estudio, Cuenca de Quillota, años 1999 y 2007.

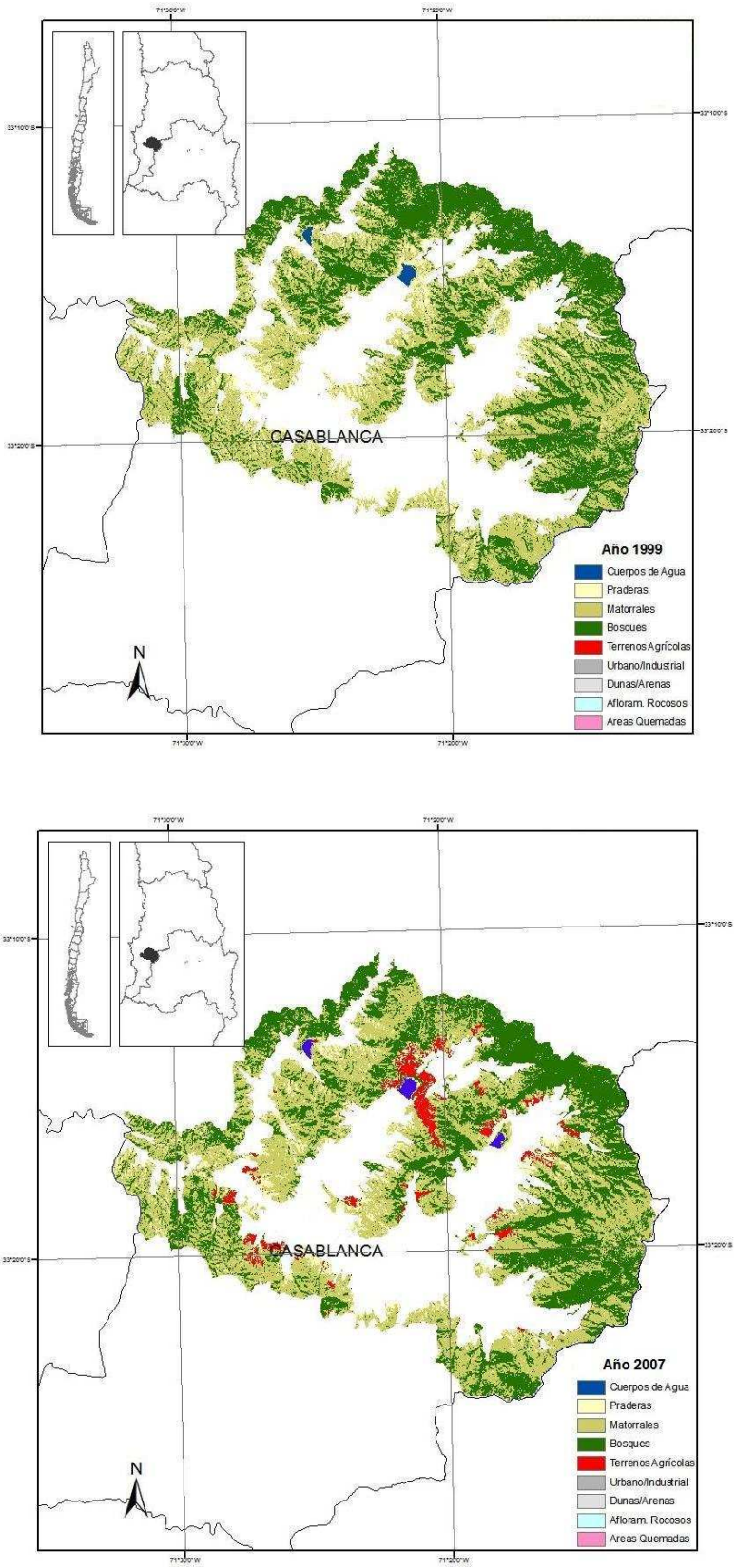

Figura 3. Clasificación supervisada del área de estudio, Cuenca de Casablanca, años 1999 y 2007.

2.4. Fuerzas inductoras de habilitación agrícola en laderas

A partir de los datos raster proporcionados por las clasificaciones (mapas temáticos), se ajustaron ecuaciones desde modelos de regresión logística (Ec. 1) con el objeto de identificar las principales fuerzas inductoras que, en el período y área en estudio, ayudarían a explicar los cambios de uso de suelo producidos por habilitación de terrenos agrícolas sobre áreas de bosque esclerófilo en laderas.

$$P(y=1 \mid X_1, X_2, ...X_n) = \frac{e^{(\beta_0+\beta_1 X_1+.....+\beta_n X_n)}}{1+e^{(\beta_0+\beta_1 X_1+.....+\beta_n X_n)}} \qquad \text{Ec.1}$$

donde:

P(y)	es la probabilidad de cambio del fenómeno en el período estudiado
βi	es el coeficiente de regresión del modelo para la variable independiente Xi
Xi	es el valor de la i-ésima variable independiente

Las variables independientes consideradas en los ajustes, fueron determinadas principalmente en base a la disponibilidad de información en formato cartográfico digital y dada su utilización en estudios similares (Heaton, 2000; Merenlender, 2000; Alados *et al*., 2004; Loza, 2004; Serra *et al*. 2005). En el cuadro 1 se describen las variables consideradas y sus categorías.

Dado que el fenómeno de habilitación agrícola abordado en el presente trabajo se concentra en torno al pie de las laderas, se procedió a ajustar los modelos de regresión, tomando datos muestrales a partir de dos bandas de ladera; una de 500 m de ancho y otra de 2.000 m, ambas medidas desde los bordes los valles agrícolas existentes a esa fecha. No se incluyeron por lo tanto en los ajustes, áreas de fondo de valle o laderas que ya presentasen cultivos agrícolas al año 1999. En la figura 4 se ilustra la disposición de las bandas de ladera, como áreas de muestreo.

Cuadro 1. Variables independientes utilizadas como predictores de la probabilidad de cambio

Variable	Tipo	Categorías
Pendiente	Continua	0 – 100%
Exposición	Discreta	Plano, N, NE, SE, S, SW, W, NW
Altitud	Continua	0-1.250 m.s.n.m.
Distancia a caminos	Continua	0-3.000 m.
Distancia a cultivos agrícolas	Continua	0-2.000 m.
Distancia a infraestructura de riego	Continua	0-3.000 m.
Clase de Capacidad de Uso	Discreta	I-VIII
Distrito agroclimático	Discreta	A01, A02, A04, A08, A20, A21, A22
Profundidad de suelo	Discreta	Muy delgado, delgado, ligeramente. profundo, moderad. profundo, profundo

Adicionalmente, fueron excluidas de las bandas de muestreo todas aquellas zonas adyacentes de los fondos de quebradas (200 metros por cada lado), cuya vegetación, por normativa no puede ser intervenida.

En el cuadro 2 se pueden apreciar las superficies totales muestrales en bandas de ladera.

Cuadro 2. Superficies de ladera y de bandas de muestreo

Superficie (ha)	Cuenca	
	Quillota	Casablanca
Áreas de ladera	121.646,7	32.202,3
Banda 2000 m	62.892,9	28.094,7
Banda 500 m	17.380,0	10.767,2

Sobre tales superficies se aplicaron mallas de muestreo sistemático de 300 x 300 m para obtener datos con los que se realizaron los ajustes.

Dado que las cuencas bajo estudio concentran cultivos agrícolas de diferentes características (paltos (*Persea americana*) y viñas (*Vitis vinifera*), en Quillota y Casablanca, respectivamente), se realizaron las modelaciones para cada cuenca por separado, de manera de observar e intentar explicar ambos fenómenos de manera independiente. Para cada banda de modelación, se realizaron los correspondientes ajustes de regresión logística incluyendo todas las variables independientes preseleccionadas, tanto continuas como discretas (Rossiter y Loza, 2008).

Generados los modelos iniciales, se aplicó en cada uno de ellos, en ambiente R (Ihaka & Gentleman. 1996), el método de eliminación progresiva (*"backward stepwise regression"*), que permite ir iterando modelos con cada vez mejor bondad de ajuste, por la vía de ir excluyendo aquellas variables independientes menos significativas. La bondad de ajuste fue medida a través del estadístico AIC *(*Criterio de Información de Akaike), que es un valor índice que considera la parsimonia del modelo ajustado, penalizando el mayor número de parámetros y la complejidad de los modelos (Fox, 2002). En general la regla de Akaike (1974), consiste en seleccionar como mejor modelo ajustado, para un mismo fenómeno y muestra, aquel AIC de menor valor.

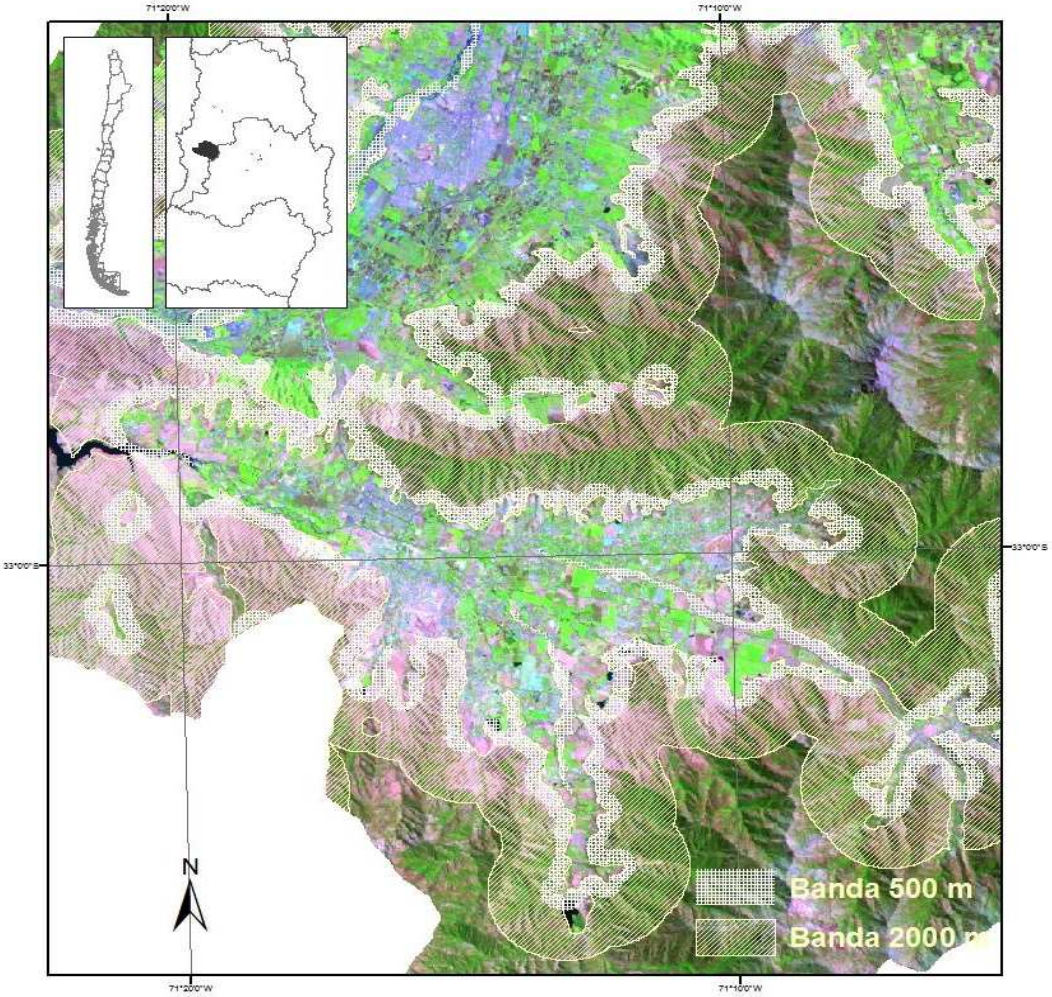

Figura 4. Bandas de muestreo en laderas de cerro

3. RESULTADOS

El proceso de clasificación supervisada de imágenes determinó niveles generales de precisión de 80,17% y 82,33% para las imágenes año 1999 y 2007, respectivamente. Por su parte, los valores generales de concordancia entre valores clasificados y observados (índice *Kappa*), fluctuaron entre 0,72 y 0,75, para ambas imágenes correspondientemente, considerándose como buenos (Altman, 1991).

En particular para las clases “bosques” y “terrenos agrícolas”, los valores *Kappa* fluctuaron entre 0,77 y 0,85 para la imagen del año 1999, y entre 0,72 y 0,83 para la imagen del año 2007, considerándose entonces una buena clasificación para la clase “bosques” y una muy buena para la clase “terrenos agrícolas”. Por su parte, tanto la clase “matorrales” como “praderas” presentaron valores moderados de concordancia (0,61-0,72), siendo la clase “praderas” la de menor nivel de precisión en términos de los mapas temáticos producidos (users accuracy). En el anexo 1 se presentan las matrices de confusión y los índices de concordancia (*Kappa)*, para ambas imágenes.

3.1. Dirección de cambios de uso de suelo

En general, en ambas cuencas se apreciaron cambios de usos de suelo en márgenes que oscilan en las diferentes clases, en torno al 11 y 12%. Es así como en la cuenca de Quillota, de un total de 121.646,79 há. de superficie de ladera, en términos absolutos unas 13.716 há. habrían sufrido cambios. Mientras en Casablanca, de un total de 32.202,36 há. de terrenos de ladera, unas 4.000,5 há, habrían sufrido modificaciones.

Del total de cambios observados en la cuenca de Quillota, los más importantes fueron las disminuciones de superficie observadas en las clases “praderas”, con 3.482 há. y “bosques” con 3.220 há. de pérdida. Por su parte es posible también apreciar aumentos de 2.570 há. en la clase “terrenos agrícolas” y de 855 há. en la clase “matorrales”. La figura 5 muestra la variación de superficie de algunas clases de uso de suelo de interés para los años 1999 y 2007. Las mayores contribuciones a la expansión de terrenos agrícolas sobre ladera, provinieron desde las clases “matorrales” y “praderas” con aportes de 1.215,2 y 1.048,5 há. respectivamente (Figura 7). Sólo 268,7 há fueron habilitadas desde áreas de bosque nativo, lo que representa un aporte del 10,4% desde esa clase de uso de suelo.

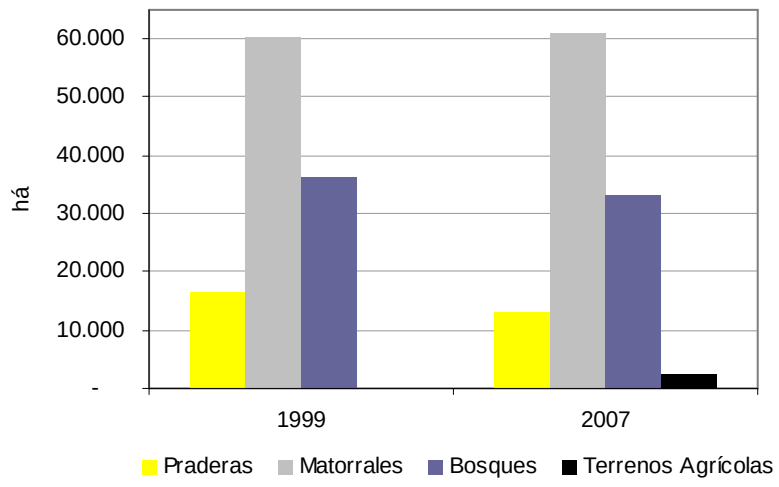

Figura 5. Superficie de bosques, matorrales y terrenos agrícolas en laderas de Quillota.

Los cambios de uso de suelo detectados desde la clase "bosques" a la clase "terrenos agrícolas" en la cuenca de Quillota, se dieron principalmente en áreas de baja pendiente, entre 0 y 30%, y preferentemente en exposiciones sur, sureste y suroeste. Por su parte, la mayor parte de las habilitaciones de terrenos agrícolas que tomaron lugar sobre formaciones de matorral, lo hicieron en laderas de hasta 45% de pendiente, con exposiciones norte, noreste, este y noroeste principalmente.

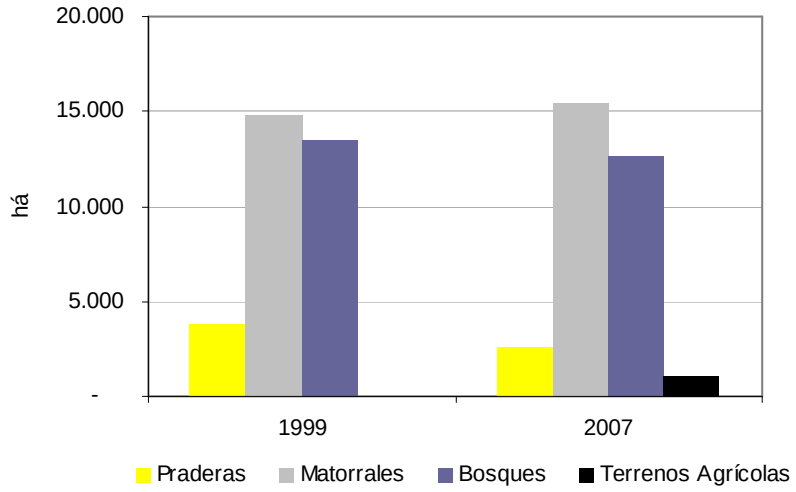

Figura 6. Superficie de bosques, matorrales y terrenos agrícolas en laderas de Casablanca

Es interesante también observar que la superficie de cambio desde la clase “bosques” a “matorrales”, en las laderas de la cuenca de Quillota alcanzó 10.221,6 há. El detalle de las superficies de cambios de la matriz de tabulación cruzada se encuentra en el anexo 2.

En Casablanca en tanto, el mayor cambio se detectó en la clase “praderas” con una disminución de 1.189 há., seguida por una superficie de pérdida de “*bosques”* de 811,26 há., siendo algo menor en proporción a la observada en Quillota. La clase “matorrales” aumentó en 663,48 há. y los “terrenos agrícolas” en 1.123,47 há. La figura 6 muestra la variación de superficie de algunas clases de uso de suelo de interés, para los años 1999 y 2007.

Las mayores contribuciones a la expansión de la agricultura en Casablanca, al igual que en Quillota, fueron las realizadas desde las clases “praderas” y “matorrales”, con aportes de 483,0 y 481,9 há, respectivamente (Figura 7). Sólo 155,3 há corresponden a superficies habilitadas desde áreas de bosque nativo, lo que representa un aporte de 13,8% desde esa clase de uso de suelo. Las superficies de cambios específicas entre clases de uso de suelo observadas en la cuenca de Casablanca, entre 1999 y 2007, se encuentran en el anexo 2.

Al igual que en la cuenca de Quillota, en Casablanca se observó una importante pérdida de superficie de la clase de uso de suelo “bosques”, hacia la clase “matorrales”, con 3.428,1 há.

En general, se puede señalar que los cambios de uso de suelo detectados en la cuenca de Casablanca desde la clase “bosques” a “terrenos agrícolas” se dieron en áreas de baja y moderada pendiente, entre 0 y 45%, y en exposiciones sur y sureste (22%). Por su parte, las habilitaciones agrícolas realizadas sobre formaciones de “matorrales” tomaron lugar principalmente en áreas de ladera de hasta 45% de pendiente y en sectores de exposición noroeste, norte y oeste (20%).

De los resultados obtenidos se desprende que la composición de los terrenos agrícolas habilitados en ladera al año 2007, en ambas cuencas, tiene su origen principalmente en las praderas, matorrales y, en menor medida, en bosques. La figura 7 muestra tales composiciones en las cuencas de Quillota y Casablanca, respectivamente.

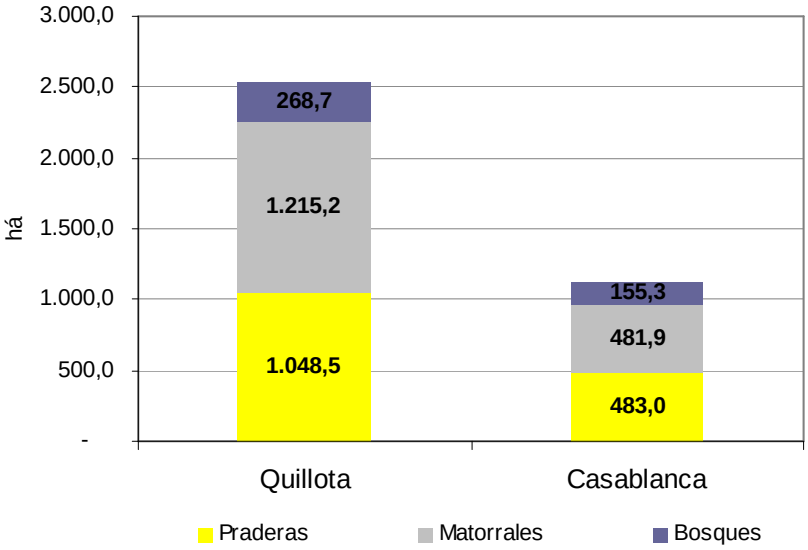

Figura 7. Superficie de habilitación de terrenos agrícolas según clases de uso de suelo de origen.

En la figura 7 es posible dimensionar territorialmente la magnitud total de las intervenciones de habilitación de terrenos agrícolas identificadas a nivel de ambas cuencas, sobre áreas de bosque y matorral esclerófilo en laderas para el período de estudio.

Las principales áreas de habilitación en ambos valles se concentran en los sectores de Rautén, San Rafael y Nuevo Pucalán, en Quillota, y en Embalse Lo Ovalle - El Carpintero y Embalse Perales - Tapihue, en la cuenca de Casablanca.

En general, al revisar las superficies de intercambio entre distintas clases de uso del suelo en ambas cuencas, se observa que los patrones de cambio de uso de suelo, tanto en proporción como en dirección, no presentan grandes diferencias. Es así como por ejemplo, los porcentajes de conversión de superficies de “bosque” a “matorral”, oscilan entre 28,1 y 25,3 % para las cuencas de Quillota y Casablanca, respectivamente.

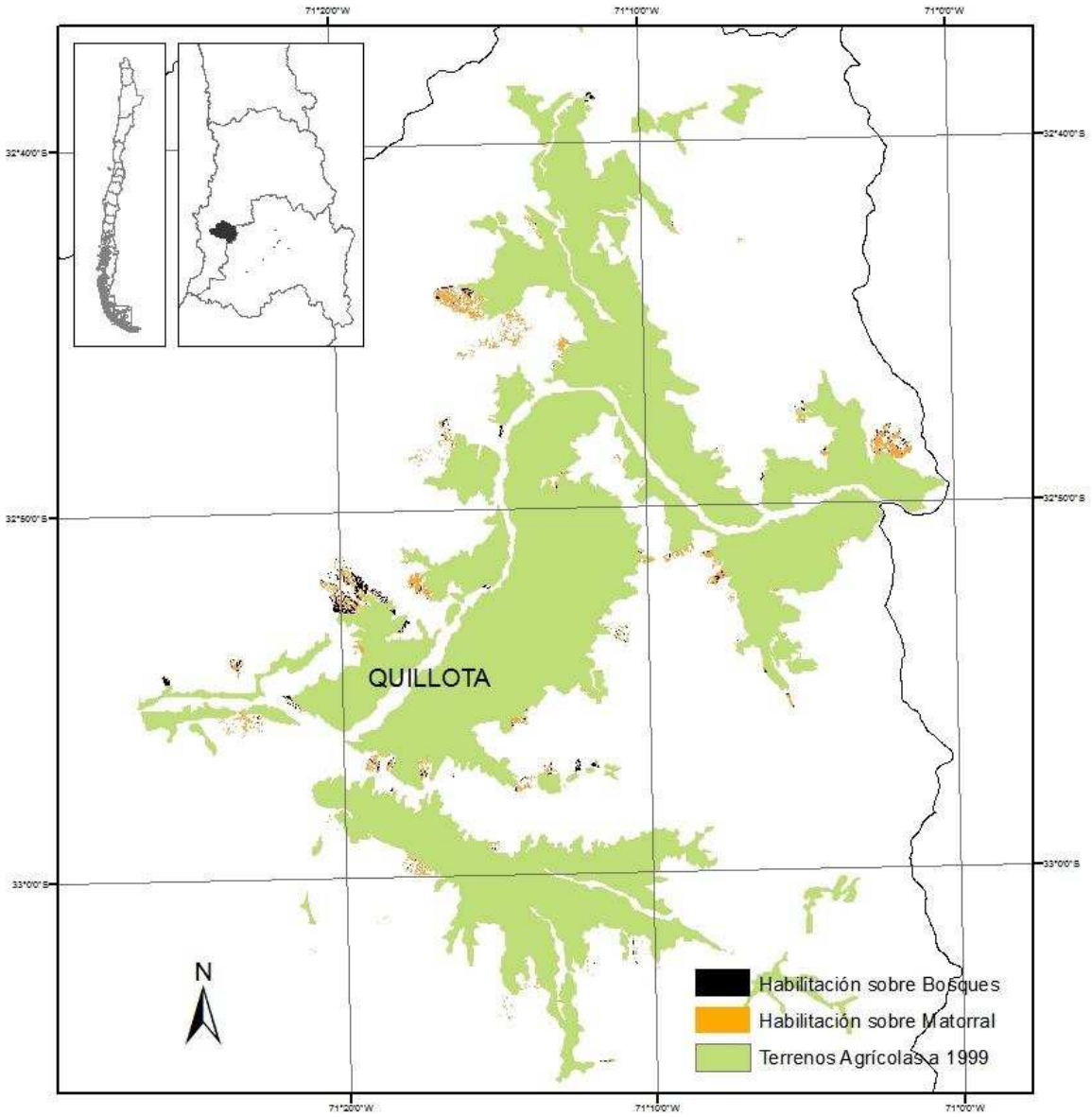

Figura 8. Áreas de habilitación agrícola sobre superficies de bosque y matorral, Quillota

De igual manera, los porcentajes de conversión de “bosque” a “terrenos agrícolas” varían entre 1,1 y 0,7%, mientras que de “matorrales” a “terrenos agrícolas”, las proporciones de cambio se mantienen entre 2 y 3,2%. El único caso donde se registró una diferencia sustancial fue en los porcentajes de conversión entre “praderas” y “terrenos agrícolas”, donde para la cuenca de Quillota se indica un 6,2%, mientras que para Casablanca un 12,9%. En la figura 10 se esquematizan los principales tipos de cambios de de uso de suelo entre las clases de interés del presente estudio.

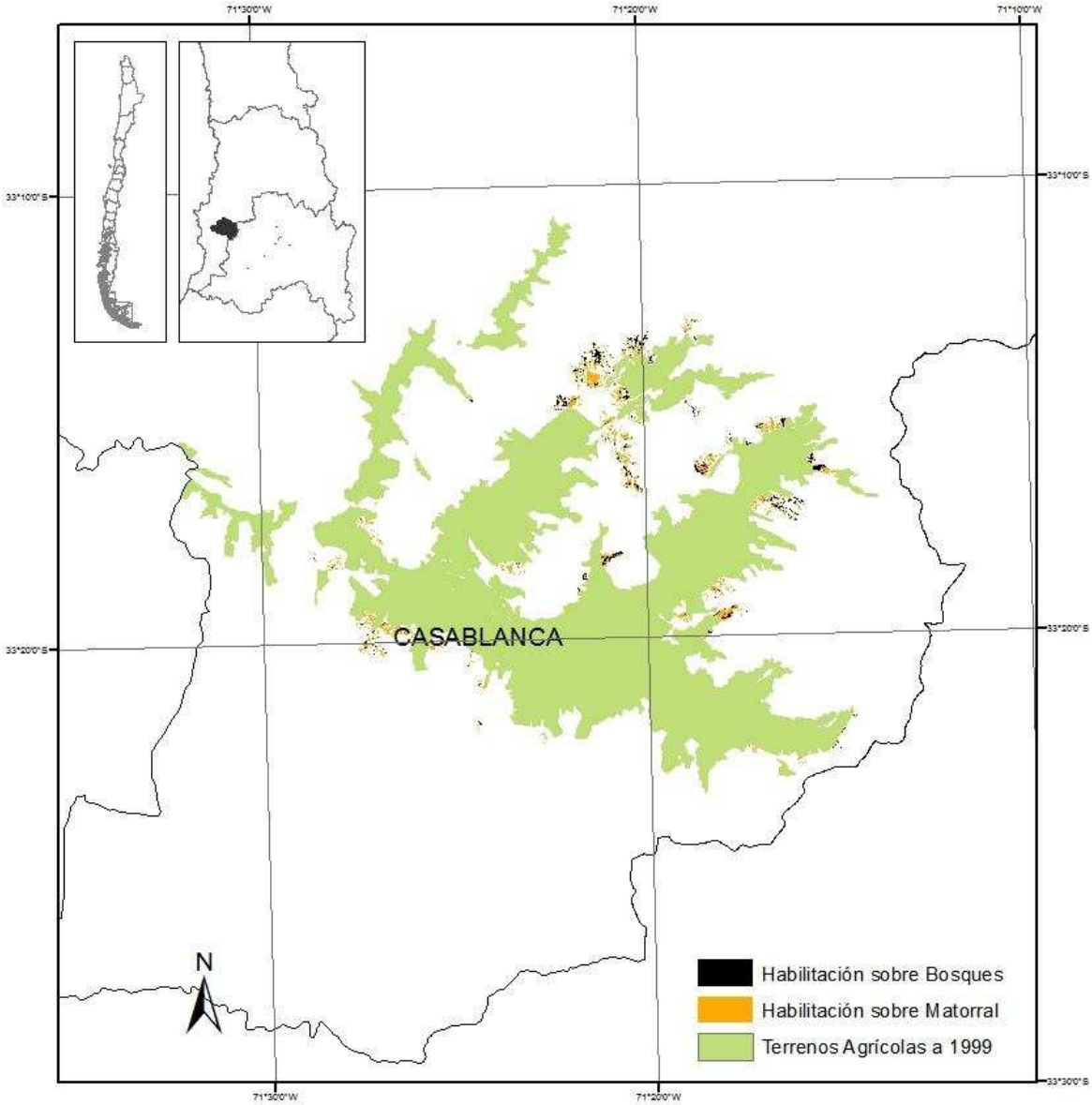

Figura 9. Áreas de habilitación agrícola sobre superficies de bosque y matorral, Casablanca

3.2. Consecuencias paisajísticas

En la cuenca de Quillota el número de parches (NP) de la clase “bosques”, entre los años 1999 y 2007 varió de 11.855 a 12.288, en circunstancias que además hubo una disminución de la superficie total (ST) de 36.303,8 a 33.083, 6 há. Lo anterior, sumado al hecho que el tamaño medio de los parches (MPS) varió de 3,06 a 2,6 há, indica que a lo largo de 8 años la clase “bosques” se vio afectada por procesos de fragmentación.

En la cuenca de Casablanca la situación fue similar. El número de parches (NP) aumentó de 3.370 a 3.498 en el año 2007, siendo que la superficie total (ST) de la clase disminuyó en 811,2 há. Esto ocurrió de manera tal que el tamaño medio de los parches (MPS) disminuyó de 4,0 há a 3,6 há. De igual manera se evidencian rasgos de fragmentación, en el período bajo estudio, sobre los parches remanentes de bosque esclerófilo de la cuenca de Casablanca.

Al analizar los índices de paisaje calculados para ambas cuencas, se observa que los procesos de fragmentación de bosques fueron de moderados a leves, no siendo posible implicar las diferencias exhibidas a ningún agente específico de cambio de uso de suelo. Esto ya que los cambios contabilizados no sólo se atribuyen a habilitación de terrenos agrícolas, sino que también podrían estar involucrando agentes y procesos tales como; incendios forestales, extracción de leña, cortas ilegales, ganadería intensiva, expansión urbana, etc.

En el cuadro 3 se observan las métricas obtenidas para la clase “bosques” sobre ladera, en ambas cuencas.

Cuadro 3. Métricas de paisaje para la clase bosques

Cuenca	Año	NP	ST	MPS
Quillota	1999	11.855	36.303,84	3,06
	2007	12.888	33.083,64	2,69
Casablanca	1999	3.370	13.502,34	4,00
	2007	3.489	12.691,08	3,62

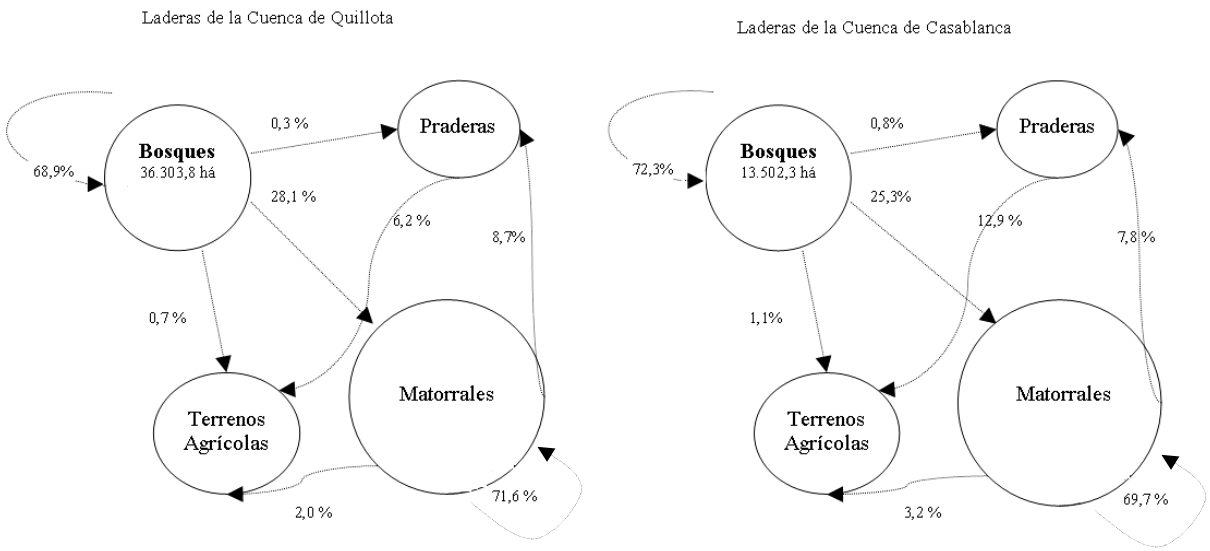

Figura 10. Principales direcciones de cambio de uso de suelo en Quillota y Casablanca, 1999- 2007

3.3. Fuerzas inductoras de la habilitación agrícola

Los ajustes de regresión logística para la cuenca de Quillota, en las bandas de 500 y 2.000 m, señalan que las principales variables explicatorias del fenómeno de habilitación de terrenos agrícolas sobre laderas cubiertas con bosque nativo, fueron la pendiente (%) del terreno y la distancia a infraestructura de riego (m) (canales y embalses). Adicionalmente para la banda de 2.000 m, se agrega como variable significativa, la altitud (m.s.n.m.). En ambos modelos de ajuste, 2.000 y 500 m., se alcanzaron valores de 0,57 y 0,49 para el estadístico D^2 (pseudo-R^2).

Estos resultados señalan - aunque insuficientes desde el punto de vista de un modelo de gran poder predictivo - un mejor ajuste logrado a partir del diseño muestral de la banda de ladera de 2.000 m.

La siguiente es la ecuación de regresión (Ec.2) ajustada con las variables explicativas (significativas) antes señaladas, para la cuenca de Quillota.

$$P_{QUI} = 1 / (1+\exp -(10.2803-0.89265\ dw.l - 1.27833\ ele.l-0.05489\ slo)) \qquad \text{Ec.2}$$

Con dicha ecuación, se generó un mapa de riesgo para la cuenca de Quillota (Figura 11). A partir del análisis de dicha cartografía se concluye que las mayores probabilidades de habilitación agrícola se concentran en sectores con rango de pendiente entre 10 al 30% y dentro de un radio de 500 m medidos desde las redes de canales y bocatomas de embalses para riego, y en un rango altitudinal entre los 50 y 150 m.s..n.m.

Por su parte, los ajustes de regresión logística logrados para la cuenca de Casablanca, en ambas bandas de muestreo, señalan que las principales variables que explican la habilitación de cultivos agrícolas sobre bosques en laderas, son la clase de capacidad de uso de suelo, la distancia a caminos (m) y la altitud (m.s.n.m.). A diferencia de los modelos de ajuste de la cuenca de Quillota, en Casablanca no se evidenciaron diferencias importantes en términos de las variables significativas identificadas a partir de ambos diseños muestrales. Dichas diferencias tampoco resultan muy evidentes a nivel de los valores del estadístico pseudo-R^2, de 0.52 y 0,56 para las bandas de 2.000 y 500 m., respectivamente.

La siguiente es la ecuación de regresión (Ec. 3) ajustada con las variables explicativas (significativas) antes señaladas, para la cuenca de Casablanca.

$$P_{CAS} = 1 / (1+\exp -(61.0247-1.78\ CCUIII + 0.8243\ CCUVI - 1.4014\ CCU\ VII - 0.5998\ dc.l - 10.2414\ ele.l)) \qquad \text{Ec.3}$$

A partir de la generación del mapa de riesgo para Casablanca (Figura 12), se logró determinar que las mayores probabilidades de habilitación agrícola se concentra en sectores de clase de suelo II, dentro de un radio de 500 m desde la red de caminos, y en un rango altitudinal de hasta 350 m.s.n.m.

Tanto los factores climáticos (cli) como la exposición de ladera (asp), y la vecindad a otros cultivos agrícolas (da.l) son variables de ajuste poco significativas, a esta escala de análisis, frente a la probabilidad que tiene cierta unidad de territorio de bosque en convertirse a la agricultura. Bajo ninguna de las modelaciones previas fue posible identificar interacciones significativas entre variables. En el anexo 3 se encuentran los valores y estadísticos logrados para cada uno de los modelos de ajuste de cada cuenca.

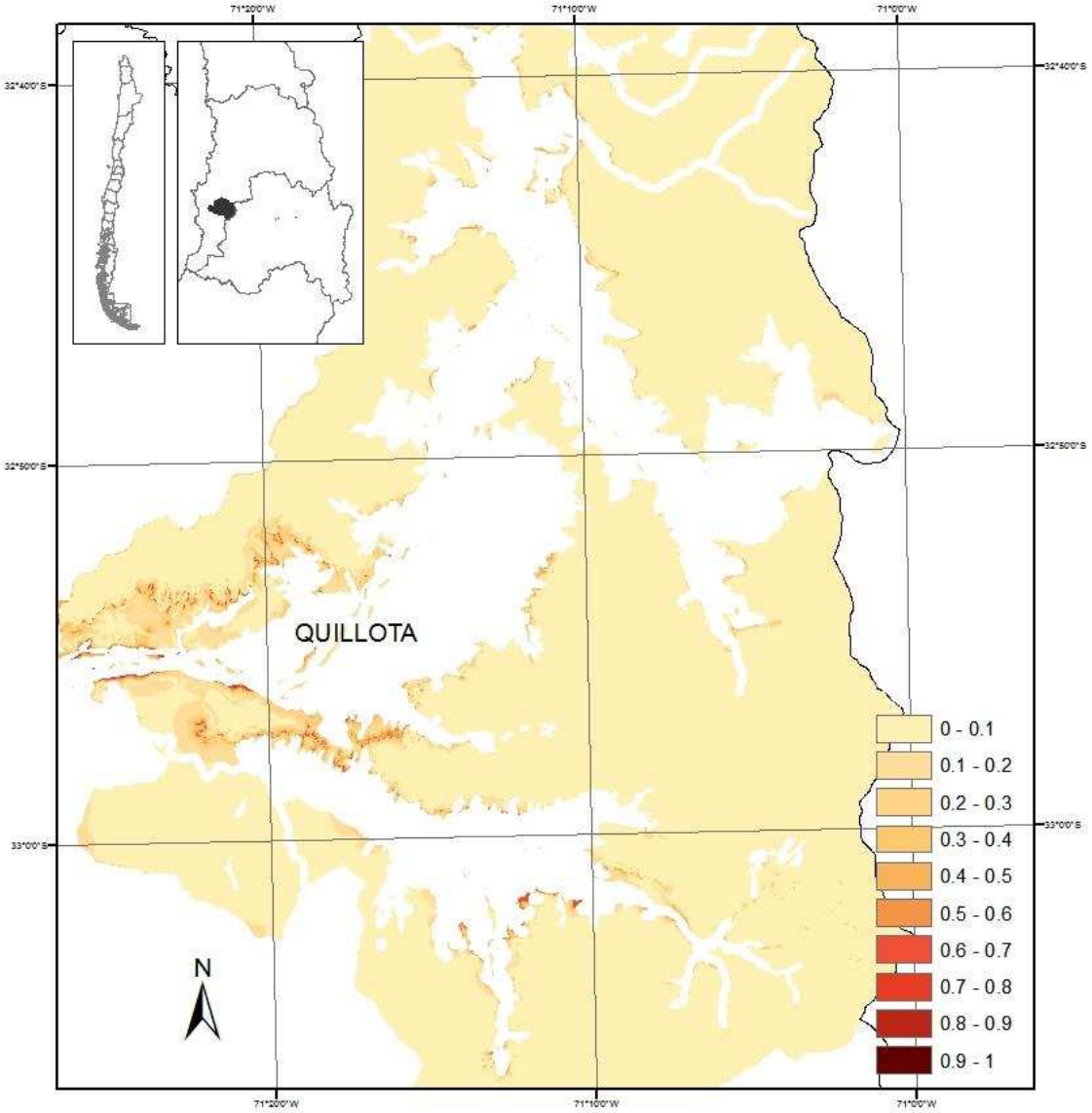

Figura 11. Mapa de riesgo de habilitación de terrenos agrícolas sobre bosque en ladera, Quillota

A partir de los mapas de riesgo, y del análisis de sus respectivos histogramas de frecuencia, es posible señalar que de un total de 38.509,3 há de bosque esclerófilo en laderas en Quillota, solo 31,6 há (0,1%) tendrían una alta probabilidad de habilitación agrícola (mayor a 0,7); 1.987,7 há (4,9%) tendrían una probabilidad entre 0,3 y 0,7, y más de 36.580 há (94%) tendría una baja probabilidad (<0,3). Las áreas más sensibles en la cuenca de Quillota, frente a una probable habilitación de terrenos agrícolas corresponden la zona de Rautén, Tabolango, El Manzanar y San Pedro, ribereñas al Río Aconcagua.

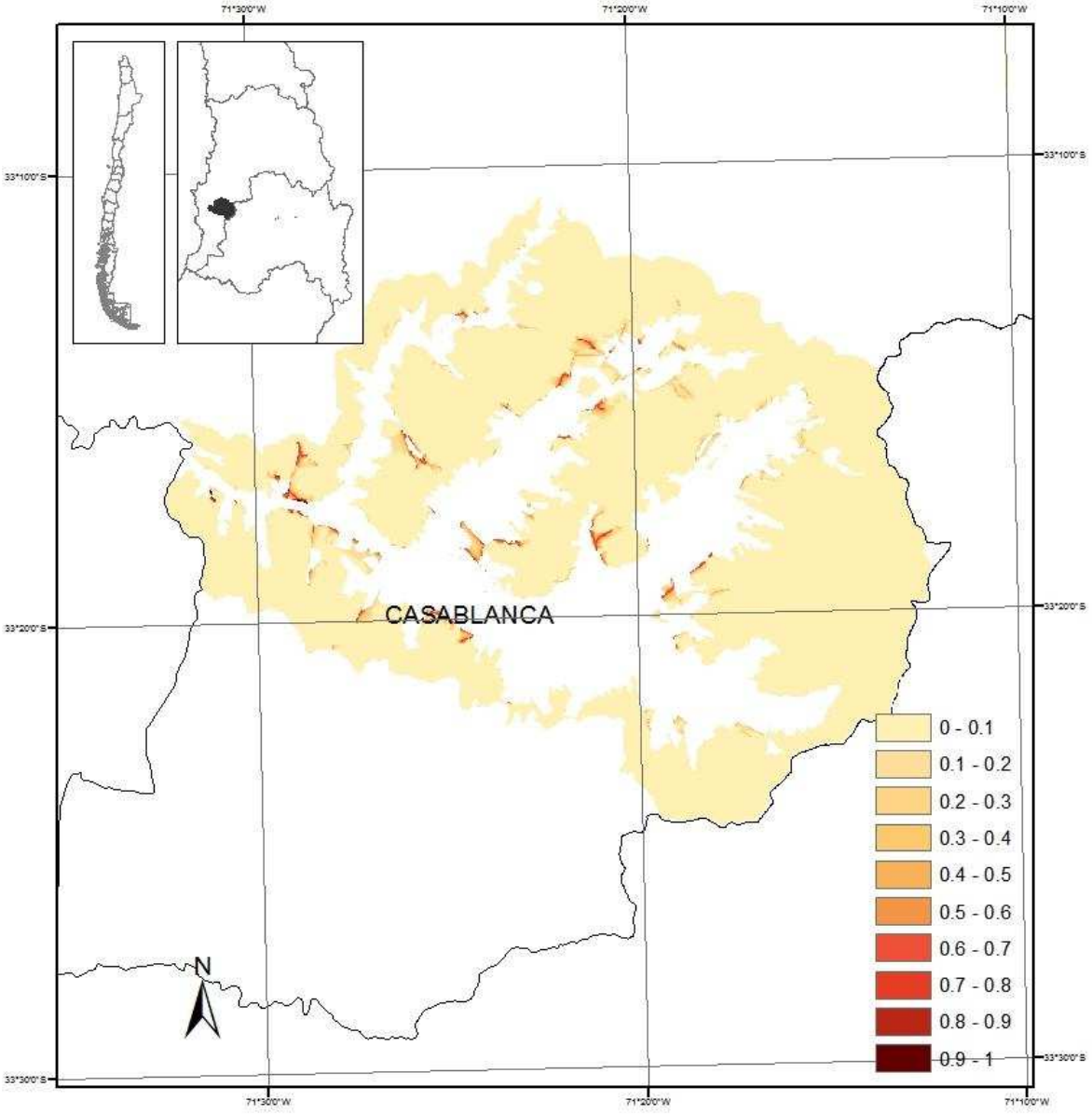

Figura 12. Mapa de riesgo de habilitación de terrenos agrícolas sobre bosque en ladera, Casablanca

Por su parte, de un total de 4.695,48 há de bosques en ladera en Casablanca, sólo 70,7 há (1,5%) tendrían una probabilidad alta de habilitación de terrenos agrícolas. Tales zonas corresponderían a laderas próximas al embalse Lo Ovalle, como asimismo a zonas contiguas a las localidades de Lo Orozco, Las Taguas, y Loma Larga. Luego, 512,8 há (10,9%) tendrían probabilidad moderada a baja, mientras que 4.087,6 há (87,1%) tendrían una probabilidad baja.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que para el área y período en estudio, existió una incidencia más bien acotada de la actividad de habilitación agrícola como factor de amenaza sobre el total de superficie cubierta por bosque esclerófilo en ladera. Esto por cuanto en ambas cuencas dicha superficie de habilitación (en 8 años) equivale aproximadamente a una superficie relativa de pérdida que oscila entre el 0,7 y el 1,1% (268 há. en Quillota y 155 há. en Casablanca).

La mayor expansión territorial de la agricultura en terrenos de ladera en los últimos 8 años, se dio mayoritariamente en áreas con presencia de matorrales y praderas. Es así como en promedio, las superficies relativas de pérdida por habilitación en áreas de matorral fueron del orden del 2,0 al 3,2% (1.215,2 há. en Quillota y 481,9 há. en Casablanca), mientras que en áreas de pradera, tales superficies oscilaron entre el 6,2 y 12,9%, equivalentes a 1.048,5 y 483,0 há., respectivamente. Los regulares niveles de precisión y concordancia alcanzados en ambas clases de uso de suelo producto de la clasificación supervisada (Anexo 1), podrían afectar negativamente la calidad de tales cifras, toda vez que existe una mayor confusión de áreas clasificadas como matorrales, pero que en realidad eran praderas (o viceversa). Por lo anterior, es preciso en sucesivos análisis contar con una mejor herramienta de clasificación (firma espectral) o con imágenes satelitales de mayor resolución, que permita discriminar de mejor manera las diferencias entre ambas clases de uso de suelo al momento de clasificar.

En general, entre ambas cuencas analizadas, los patrones de dirección y cuantía de cambios de uso de suelo son similares (Figura 6), no habiendo diferencias importantes, salvo en los montos relativos de habilitación de terrenos agrícolas desde la clase de uso de suelo “praderas”, donde en Quillota se advierte una disminución del 6,2% en relación a su superficie total original, mientras que en Casablanca se observa una merma del 12,9%. Esta diferencia también podría explicarse por la deficiencia antes señalada, relativa a los niveles de precisión y concordancia obtenidos para dicha clase en el procedimiento de clasificación supervisada.

El análisis de dirección de cambios, permite a su vez observar la existencia de una clara fuga de superficie de bosques hacia la condición de matorral (Figura 10). Es así como, tanto en Quillota como en Casablanca, entre el 28 y 25% de la superficie total de bosques

al año 1999, se transformó hacia 2007, en formaciones de matorral. Si sumado a estos resultados, se agrega lo indicado anteriormente sobre los montos de habilitación agrícola en áreas de matorral, podría suponerse ésta como una etapa intermedia desde la condición de bosque, hacia el establecimiento de nuevos cultivos en ladera.

4.1. Consecuencias paisajísticas

De los análisis efectuados con métricas de paisaje sobre ambas cuencas, es posible determinar que no hay efectos sustanciales a nivel de conectividad estructural del bosque nativo remanente atribuibles al fenómeno de expansión agrícola observado en el período y área bajo estudio.

Evidencias teóricas y empíricas indican que la fragmentación adquiere importancia como factor de amenaza de las poblaciones cuando la porción de hábitat remanente en el paisaje baja del 40-50% (Fahrig, 1998). Esto, sumado al hecho de que las cumbres de los cordones montañosos probablemente actúan como corredores para muchas especies sugiere que el impacto del fenómeno estudiado sobre la conectividad funcional también debería ser bajo.

Sin embargo, es posible que las pequeñas variaciones de uso de suelo detectadas, concentradas fundamentalmente en los pies de ladera pudieran estar afectando de manera desproporcionada la conectividad para las comunidades de zonas bajas.

4.2. Fuerzas inductoras y predictibilidad de los modelos

Los factores determinantes del cambio desde bosques a cultivos agrícolas fueron distintos en las dos cuencas estudiadas. Así, en la cuenca de Quillota, estas variables fueron la distancia a infraestructura de riego y la pendiente del terreno, mientras que en Casablanca lo fueron la clase de uso del suelo y la distancia a caminos. Sólo la altitud fue un factor común en ambas cuencas.

Las diferencias encontradas podrían explicarse por la naturaleza de los cultivos dominantes en las laderas de una y otra cuenca: paltos en Quillota y viñas en el valle de Casablanca. Tanto las condiciones edafoclimáticas como las socioeconómicas construidas (caminos, canales, embalses) en cada cuenca, así como los requerimientos

fisiológicos y de manejo de cada tipo de cultivo, pueden estar influyendo en el efecto relativo de las variables predictoras utilizadas en los modelos de regresión logística. Por ejemplo, los requerimientos hídricos de los paltos son altos, necesitando entre 8.000 a 10.000 m^3/há/temporada, en suelos de buena permeabilidad (Lemus *et al*., 2005). Por esta razón la existencia y proximidad de fuentes de agua e infraestructura para equipar los sistemas de riego en pendientes admisibles (por el costo de bombeo), son variables altamente incidentes en la decisión sobre la creación de huerto de esta especie.

Por su parte, el cultivo de la vid tiene requerimientos hídricos relativamente bajos pudiendo llegar a ser de hasta un 50 % menos si se utilizan sistemas de riego eficientes, como el riego por goteo (Pozo, 2000). Sin embargo, otros factores tales como, la posición de ladera para evitar el efecto de las heladas en el proceso de acumulación de "días-grado", y la proximidad a centros de vinificación y sus redes de acceso, pueden estar siendo mas relevantes al momento de tomar decisiones sobre expansión de nuevos cultivos de la vid (INIA, 2001; Rojas, 2005).

Con relación a la pendiente, pareciera ser que la configuración topográfica de las laderas de la cuenca de Quillota, junto con mayores restricciones al empleo de maquinaria pesada en la preparación del terreno (de *"camellones"*) para el establecimiento de cultivos del palto, convierten en determinante a dicho factor. No así en la Cuenca de Casablanca, donde las condiciones topográficas son algo más moderadas y la preparación del terreno para el establecimiento de vides, tendría menores restricciones en cuanto a la rugosidad del terreno.

Evidentemente, la complejidad de la trama de factores y variables que intervienen en los procesos de toma de decisión para el establecimiento de nuevos cultivos agrícolas en laderas, hace difícil sintetizar en una sola ecuación la probabilidad de habilitación agrícola sobre un territorio de características determinadas. Así, a pesar de que en ambas cuencas lo modelos resultaron significativos, el nivel de ajuste de éstos fue relativamente bajo.

De hecho, ninguno de los modelos ajustados identificó como significativas, interacciones entre los factores y variables biofísicas utilizados.

Por otra parte, existe una serie de variables de índole socio-económica, explícitamente espaciales y otras no, cuya inclusión en modelos probabilísticos - sean fenomenológicos o mecanísticos - permitirían explicar el fenómeno bajo estudio con un mayor ajuste a tal nivel de complejidad. Algunas de tales variables a considerar serían el valor de la tierra ($/há), las variaciones del tipo de cambio ($/US$), la oferta de mano de obra, el costo de los insumos, los costos de habilitación de terrenos para agricultura, los niveles de demanda de los productos, las condiciones actuales y proyectadas de los mercados involucrados y el costo alternativo que imponen las regulaciones al uso de la tierra, entre otros.

Finalmente el realizar o no la inversión, vale decir, el hacer efectiva o no una expansión para el establecimiento de nuevos cultivos agrícolas en determinados territorios y bajo ciertas condiciones, será función tanto de las regulaciones (normativas) como de la rentabilidad que ofrece una oportunidad de negocios.

4.3. Proyecciones a futuro

Adicionalmente a los elementos de incertidumbre mencionados en los párrafos anteriores, existe otro factor que puede afectar la capacidad predicitiva de los modelos desarrollados. Aunque no analizado en detalle en el presente trabajo, si fue posible observar a nivel general, una activa reocupación del uso agrícola intensivo de las tierras de fondo de valle, las cuales antaño utilizadas como huertos, praderas de empastada y áreas de barbecho, hoy han ido progresivamente ingresado a una modalidad mas intensiva e industrializada del uso de la tierra. Ello podría haber ejercido en cierta medida, un “efecto tampón provisorio” sobre las laderas de monte, como nuevas áreas de habilitación.

Es altamente inviable que la capacidad industrial y vial instalada en estos polos agrícolas sea fácilmente trasladable a otros valles contiguos con similares características edafoclimáticas para establecer similares cultivos. En tal sentido, y habiendo alcanzado los fondos de valle su capacidad máxima de acogida de cultivos agrícolas, aparece como posible el surgimiento de una segunda etapa de establecimiento de cultivos sobre laderas, con una tasa mayor a la identificada entre 1999 y 2007.

Adicionalmente, si las predicciones sobre los efectos del cambio global en la agricultura en Chile (Fuenzalida, 2006) son correctas, es muy posible que las estimaciones sobre

probabilidad de cambio de bosque a zonas agrícolas en ambas cuencas (Figura 9) - calculadas en torno al 0,08 y 1,5% de sus superficies actuales, respectivamente - podrían corresponder a subestimaciones. Esto sugiere continuar con nuevas modelaciones, esta vez en el sentido más mecanístico de su construcción, incluyendo variables no necesariamente espaciales, pero sí muy influyentes en los análisis y proyecciones de probabilidad, tales como variables de naturaleza comercial y económica.

5. BIBLIOGRAFÍA

ALADOS C., Pueyo Y., Barrantes, O., Escos, J., Giner, L. y Robles A. 2004. Variations in landscape patterns and vegetation cover between 1957 and 1994 in a semiarid Mediterranean ecosystem. In: Landscape Ecology 19:543-559.

ALTMAN, D.G. 1991. Practical statistics for medical research. New York: Chapman and Hall.

AMIGO, J. y Ramírez, C. 1998. A bioclimatic classification of Chile: woodland communities in the temperate zone. Plant Ecology 136: 9-26.

ANDERSON, J.E. 2002. Logistic Regression Notes. Logistic Regression Model, Chapter 8. Stat 4601, Biostatistics Course. Division of Biostatistics. University of Minnesota Morris. 15 pp.

ARROYO M., Cavieres, L., Marticorena, C. y Muñoz-Schick, M. 1995. Convergence in the mediterranean floras in central Chile and California: insights from comparative biogeography. En: Arroyo M., PH Zedler & Fox, (eds). Ecology and Biogeography of Mediterranean Ecosystems in Chile, California, and Australia. pp. 43-88. Springer-Verlag, New York.

BALDUZZI, A., Tomaselli, R., Serey, I. y Villaseñor, R. 1982. Degradation of the mediterranean type of vegetation in central Chile. Ecología Mediterránea. T. VIII. 1982. Fasc. ½. Marseille. Définition et localisation des ecosystems mediterraneéns terrestres.

BENOIT, I. 2005. Áreas Silvestres Protegidas del Estado. Una Visión Histórica. Documento Técnico Nº162, Revista Chile Forestal. Edición Nº312. Corporación Nacional Forestal. Gobierno de Chile.

CAMUS, P. 2006. Ambiente, Bosques y Gestión Forestal en Chile: 1541-2005. Centro de Investigaciones Barros Arana. DIBAM. LOM Ediciones, Santiago, Chile. 390 pp.

CIREN, 2007. Determinación y evaluación de la fragilidad de laderas en la cuenca de Casablanca y en las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Petorca, La Ligua y Aconcagua,

V Región. Centro de Información de Recursos Naturales Publicación CIREN Nº133. 73 pp.

CONAF, 1995. Manual de Procedimientos para Evaluación de Solicitudes de Plan de Manejo - Programa de Corta o Explotación para Habilitar Terrenos con fines agrícolas. Departamento Control Forestal, Corporación nacional Forestal. Santiago, Chile. 18 pp.

CONAF, 2005. Departamento de Control Forestal. Informe Estadístico N° 39, Cuadro N° 18. Aplicación de la Legislación Forestal en Chile 1974-1992.

CONAF/CONAMA/BIRF. 1997. Evaluación y Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Nacional.

CONAF/CONAMA. 2002. Catastro de Usos del Suelo y Vegetación. Monitoreo y Actualización. Región Metropolitana de Santiago. UACH/BIOTA/INFOR. 12 pp.

CONAF/CONAMA. 2003. Catastro de Usos del Suelo y Vegetación. Monitoreo y Actualización. Sexta Región del Libertador Bernardo O'Higgins. UACH/BIOTA/INFOR. 12 pp.

CONAF/CONAMA. 2004. Catastro de Usos del Suelo y Vegetación. Monitoreo y Actualización, Quinta Región de Valparaíso. UACH/BIOTA/INFOR. 12 pp.

COWLING, RM., PW Rundel, BB Lamont, MK Arroyo y M. Arianoutsou. 1996. Plant diversity in mediterranean-climate regions. Trends in Ecology and Evolution 11 (9): 362-366.

DAVIS SD, VH Heywood, O Herrera Macbryde, J Villa-lobos & AC Hamilton (eds.) 1997. Centres of Plant Diversity: a guide and strategy for their conservation. Vol 3: The Americas. WWF UICN.

DI CASTRI, F. 1981. Mediterranean-type shrublands of the world. En: Di Castri, F., Goodall, D. y Specht, R. (Eds.) Mediterranean-type shrublands. Elsevier, Amsterdam, pp. 1-52.

DINERSTEIN E., D. Olson, D. Graham, A. Webster, S. Primm, M. Bookbinder y G. Ledec. 1995. A conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington D.C., United States.

DMC, 2009. Descripción climática, Región de Valparaíso. Dirección Meteorológica de Chile. http://www.meteochile.cl/climas/climas_quinta_region.html

DONOSO, S. 2006. Efectos de los Usos del Bosque Esclerófilo de la Zona Central de Chile. En: "Actas del Primer Coloquio sobre la Herencia Natural de Chile: Conservación del Bosque Esclerófilo en el Paisaje Natural y Cultural de Chile central". Flores y Díaz, 2007. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile.

ECHEVERRÍA C., Coomes D., Newton A., Salas J., Rey J. M. y A. Lara. 2006. Rapid fragmentation and deforestation of Chilean Temperate Forests. Biological Conservation 130:481-494.

FAHRIG, L. 1998. When does fragmentation of breeding habitat affect population survival? Ecological Modelling 105: 273292.

FOX, J. 2002. An R and S-Plus companion to applied regression. Sage Publications Inc. London. 312 pp.

FUENZALIDA, 2006. Estudio de Variabilidad Climática en Chile para el Siglo XII. Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile, Santiago, 63 pp.

GRAZIANI, M. y Karszenbaum. 2005. Protocolo para el preprocesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la Administración de Parques Nacionales. Administración de Parques Nacionales-Sistema de Información de Biodiversidad. Buenos Aires, Argentina.

HEATON, E. y Merelender, A. 2000. Modeling vineyard expansion, potencial habitat fragmentation. California Agricultura, Volume 54, Number 3: 12-20.

HERNANDEZ, J. 2007. Percepción Remota. En: Geomática Forestal, Capítulo III, Biodiversidad: Manejo y Conservación de Recursos Forestales. Hernández, J., De la Maza, C.L. y Estades, C. (eds). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. 803 pp.

IHAKA, R. & R. Gentleman. 1996, "R: A Language for Data Analysis and Graphics", Journal of Computational and Graphical Statistics 5: 299-314.

INFOR, 2005. Superficie de plantaciones forestales. IV a XI regiones. Actualización a Diciembre de 2005. Instituto Forestal. Ministerio de Agricultura. 40 pp.

INIA (2001). Sistema de manejo integrado de producción de uva vinífera para la denominación de origen del vino elaborado en el valle de Casablanca. http://www.inia.cl/platina/investigacion/proyectos/1998_valenzuela.cfm

LEMUS, G., Ferreira, R., Gil, P., Maldonado, P. Toledo, C., Barrera, C. y Celedon, J.M. 2005. El cultivo del Palto. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N°129. 76 pp

LOZA, 2004 .A spatial logistic model for Tropical forest conversion: a case study of Carrasco province (1986-2002), Bolivia.

LUEBERT, F. y Becerra, P. 1998. Representatividad vegetacional del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE). Ambiente y Desarrollo 14 (2): 62-69.

LUEBERT, F y Pliscoff, P. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria, Stgo de Chile.

MERENLENDER, A. 2000. Mapping vineyard expansion provides information on agricultura and the environment. California Agriculture, Volume 54, Number 3. pp. 7-12.

MORENO, P., Villagrán, C., Marquet, P. y Marshall, L. 1994. Quaternary paleobiogeography of northern and central Chile. Revista Chilena de Historia Natural 67: 487 – 502.

MONTENEGRO, G., Ginocchio, R., Segura, A., Keely, J., y Gomez, M. 2004. Fires regimes and vegetation responses in two Mediterranean-climate regions. Revista Chilena de Historia Natural. 77: 455-464.

MUÑOZ, M. y Moreira, A. 2005. La Flora de Chile Mediterráneo y su Estado de Conservación. Museo Nacional de Historia Natural.

MYERS, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., DA Fonseca, G., y Kent, J. 2000. Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities. Nature 403: 853-858.

ODEPA, 2005. Agricultura Chilena 2014. Una perspectiva de mediano plazo. Ministerio de Agricultura. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. 243 pp.

ODEPA, 2007. Boletín Mercados Agropecuarios Nº183. Situación de los mercados de exportación de tres frutas en expansión: paltas, arándanos y cerezas. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Disponible en www.odepa.gob.cl

OLSON, D. y Dinerstein, E. 2002. The Global 200: Priority Ecoregions for Global Conservation. Annals of Missouri Botanical Garden. 89: 199-224.

OTERO, L. 2006. La Huella del Fuego. Historia de los bosques nativos. Doblamiento y cambio en el paisaje de sur de Chile. Editorial Pehuén. 168 pp.

PLISCOFF, P. 2007. Análisis de Representatividad Ecosistémica de las Áreas Protegidas Públicas y Privadas en Chile.

POZO, B. 2008. Determinación de los requerimientos hídricos de la vid. Monografía. 6 pp.

RAMÍREZ, F. 2006. Un Aporte de la Historia Ecológica sobre el Deterioro de los Bosques de Chile central. En: “Actas del Primer Coloquio sobre la Herencia Natural de Chile: Conservación del Bosque Esclerófilo en el Paisaje Natural y Cultural de Chile central”. Flores y Díaz, 2007. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile.

RAE, 2009. Diccionario de la lengua española. Vigésimo segunda edición. Real Academia Española. http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=monte

ROSSITER y Loza, 2008. Technical Note: Analyzing land cover change with logistic regresión in R.

ROJAS, P. 2005. La vitivinicultura y su proceso de expansión en ladera en el valle de Lontué, Región del Maule. Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Geografía. 108 pp.

RUIZ, G. 2005. Sustitución de bosque esclerófilo de la zona central por plantaciones de palta: ¿es un problema? Si lo es, ¿Cómo solucionarlo?. Documento borrador. 11 pp.

RUNDEL, P.W. 1981. The matorral zone of Central Chile. En: Mediterranean type shrublands (Di Castri, F. y F.D. Goodall, eds.), pp. 175-201. Elsevier, New York.

SAG, 2005. Catastro Vitícola Nacional. División de Protección Agrícola. Subdepartamento de Viñas y Vinos. Servicio Agrícola y Ganadero. Ministerio de Agricultura.

SERRA, P., Saurí, D. y Pons. X. 2005. Metodología para el análisis de las transformaciones paisajísticas de áreas rurales mediterráneas. Evolución, causas y consecuencias en el Noreste de Cataluña. Investigaciones Geográficas, n°36 (2005) pp.25-42. ISSN:0213-4619. Instituto de Geografía. Universidad de Alicante.

SCHONTHALER, C. 2005. Sustitución y cambio de uso de suelos forestales para una agricultura intensiva. Fortalezas y problemas. En: Mundo Forestal, Junio de 2005. Colegio de Ingenieros Forestales. Santiago, Chile.

VALENZUELA, J., Hinrischen, P. Herrera, G., Alvarez, M., Pinilla, B., Ferreyra, R., Selles, G., Villaseca, S., Novoa, R., y Ruiz, R. 2001. Sistema de manejo integrado de producción de uva vinífera para la denominación de origen del vino elaborado en el Valle de Casablanca. http://www.inia.cl/link.cgi/Platina/Investigacion/Proyectos/1232

VILLAGRAN, C.1995. Quaternary history of the Mediterranean Vegetation of Chile. En: “Ecology and Biogeography of Mediterranean Ecosystems in Chile, California and Australia”. Kalin ,M., Zedler, P., y Fox, M (eds). Springer Verlag, New York.

VITA, A. 1993. Ecosistemas de bosques y matorrales mediterráneos y sus tratamientos silviculturales en Chile. En: Investigación y desarrollo de áreas silvestres en zonas áridas y semiáridas de Chile. Documento de Trabajo Nº21. CONAF/FAO.

ANEXO 1. Evaluación de la Clasificación Supervisada de Imágenes Landsat

Clasificación Imagen Landsat 1999

Matriz de Confusión - Accuracy Totals

Clase	Referente totals	Classified totals	Number correct	Producers accuracy	Users accuracy
Cuerpos de Agua	1	1	1	100,00 %	100,00 %
Praderas	35	37	25	71,43 %	67,57 %
Matorrales	99	95	77	77,48 %	81,05 %
Bosques	63	62	52	82,54 %	83,87 %
Terrenos Agrícolas	21	22	19	90,48 %	86,36 %
Areas Urbanas/Industriales	9	9	9	100,00 %	100, 00 %
Dunas/Arenas	1	2	1	100,00 %	50,00 %
Afloramientos Rocosos	3	4	2	66,67 %	50,00 %
Areas Quemadas	0	0	0	-	-
Totales	**232**	**232**	**186**		

Overall Classification Acuracy **80,17** %

Kappa Statistics

Clase	*Kappa*
Cuerpos de Agua	1,0000
Praderas	0,6181
Matorrales	0,6695
Bosques	0,7786
Terrenos Agrícolas	0,8501
Areas Urbanas/Industriales	1,0000
Dunas/Arenas	0,4978
Afloramientos Rocosos	0,4934
Areas Quemadas	-
Overall *Kappa* Statistics	**0,7240**

Clasificación Imagen Landsat 2007

Matriz de Confusión-Accuracy Totals

Clase	Referente totals	Classified totals	Number correct	Producers accuracy	Users accuracy
Cuerpos de Agua	1	1	1	100,00 %	100,00 %
Praderas	19	26	17	89,47 %	65,38 %
Matorrales	103	97	82	79,61 %	84,54 %
Bosques	61	63	50	81,97 %	79,37 %
Terrenos Agrícolas	26	28	24	92,31 %	85,71 %
Areas Urbanas/Industriales	11	10	10	90,91 %	100,00 %
Dunas/Arenas	5	2	2	40,00 %	100, 00 %
Afloramientos Rocosos	5	4	4	80,00 %	100,00 %
Areas Quemadas	1	1	1	-	-
Totales	**232**	**232**	**191**		

Overall Classification Acuracy **82,33** %

Kappa Statistics

Clase	*Kappa*
Cuerpos de Agua	1,0000
Praderas	0,6230
Matorrales	0,7220
Bosques	0,7200
Terrenos Agrícolas	0,8390
Areas Urbanas/Industriales	1,0000
Dunas/Arenas	1,0000
Afloramientos Rocosos	1,0000
Areas Quemadas	-
Overall *Kappa* Statistics	0,7537

ANEXO 2. Matrices de Tabulación Cruzada para análisis de cambio de uso de suelo (1999-2007)

Matriz de Cambio de Uso de Suelo en Quillota en áreas de ladera, 1999 y 2007 (há)

	W	P	M	B	A	U	S	R	Q	Total 1999
W	269,8	5,8	21,6	31,1	0,2	-	58,5	5,9	-	**392,8**
P	2,5	7.608,4	6.829,3	424,3	1.048,5	-	633,5	175,4	-	**16.721,9**
M	13,1	5.274,8	43.261,0	7.375,8	1.215,2	-	1.831,1	1.363,3	-	**60.339,2**
B	5,9	131,9	10.221,6	25.017,0	268,7	-	395,6	263,2	-	**36.303,8**
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
S	8,4	154,8	319,2	145,7	37,4	-	1.863,2	116,2	-	**2.644,8**
R	0,1	17,9	525,1	89,8	-	-	145,2	4.403,3	-	**5.181,3**
Q	-	46,4	16,5	-	-	-	0,1	-	-	**62,9**
Total 2007	**299,8**	**13.239,9**	**61.194,2**	**33.083,6**	**2.570,0**	**-**	**4.932,1**	**6.327,2**	**-**	**121.646,79**

Matriz de Cambio de Uso de Suelo en Casablanca en áreas de ladera 1999 y 2007 (há)

	W	P	M	B	A	U	S	R	Q	Total 1999
W	111,4	0,3	4,4	2,0	-	-	1,5	-	-	**119,6**
P	17,3	1.274,4	1.708,1	199,0	483,0	-	54,4	-	-	**3.736,2**
M	20,4	1.160,2	10.323,8	2.718,1	481,9	-	104,6	-	-	**14.809,0**
B	10,2	107,8	3.428,1	9.767,3	155,3	-	33,6	-	-	**13.502,3**
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
S	5,8	4,5	8,0	4,7	3,2	-	9,1	-	-	**35,3**
R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
Total 2007	**165,1**	**2.574,2**	**15.472,4**	**12.691,1**	**1.123,5**	**-**	**203,1**	**-**	**-**	**32.202,36**

Nomenclatura
W: cuerpos de agua
P: praderas
M: matorrales
B: bosques
A: terrenos agrícolas,
U: áreas urbanas/industriales
S: dunas/arenas
R: afloramientos rocosos
Q: áreas quemadas.

ANEXO 3. Tablas de ajustes de regresión logística

Análisis de Regresión Logística. Habilitación agrícola en bosques, 2000m ladera, Cuenca de Quillota

Factor	Variables	Coeficientes (β)	Error Std.	z-value	Pr(>|z|)
Distrito Agroclimático	A01 (intercept)	-9.385e+00	1.075e+04	-0.001	0.999304
	A02	7.283e+00	1.104e+04	0.001	0.999474
	A08	6.020e+00	1.086e+04	0.001	0.999558
	A20	1.816e+01	1.075e+04	0.002	0.998652
	A22	2.002e+01	1.075e+04	0.002	0.998514
Pendiente (%)	Slo	-5.434e-02	1.770e-02	-3.070	0.002140 *
Distancia a infraest. de riego	dw.l	-7.789e-01	2.004e-01	-3.886	0.000102 *
Altitud (msnm)	ele.l	-1.281e+00	4.625e-01	-2.769	0.005627 *
Null deviance	251.53 on 1419 df	*Residual deviance*	125.84 on 1412 df		
AIC	141.84			*Nº Observaciones*	1.420
Pseudo-R² (D2)	0.4997				
Valor de alpha	0.05				* significativos al 95%

Análisis de Regresión Logística. Habilitación agrícola en bosques, 500m ladera, Cuenca de Quillota

Factor	Variables	Coeficientes (β)	Error Std.	z-value	Pr(>|z|)
Distrito Agroclimático	A01 (intercept)	0.8920	3956.1860	0.000225	0.99982
	A08	14.7158	5594.8859	0.003	0.99790
	A20	15.5377	3956.1806	0.004	0.99687
	A22	17.9337	3956.1804	0.005	0.99638
Exposición	Plano	-3.1285	1.8443	-1.696	0.08982
	N	17.8025	3956.1807	0.004	0.99641
	NE	2.0975	1.9689	1.065	0.28672
	SE	1.5090	1.7337	0.870	0.38410
	S	0.5324	1.9235	0.277	0.78195
	SW	-3.3871	2.1221	-1.596	0.11046
	W	0.2534	2.0780	0.122	0.90294
	NW	1.1767	2.1622	0.544	0.58630
Pendiente (%)	Slo	-0.1438	0.0570	-2.523	0.01164 *
Distancia a infraest. de riego	dw.l	-1.0682	0.3942	-2.710	0.00673 *
Altitud (msnm)	ele.l	-2.0681	1.0570	-1.957	0.05040
Null deviance	128.649 on 215 df	*Residual deviance*	54.449 on 201 df		
AIC	84.449			*Nº Observaciones*	216
Pseudo-R² (D2)	0.5768				
Valor de alpha	0.05				* significativos al 95%

Análisis de Regresión Logística. Prob. de habilitación agrícola en bosques, 2000m ladera, Cuenca de Casablanca

Factor	Variables	Coeficientes (β)	Error Std.	z-value	Pr(>|z|)
Capacidad de Uso del Suelo	CCUII (intercept)	61.0247	17.5266	3.482	0.000498 *
	CCUIII	1.7891	1.1638	1.537	0.124246
	CCUVI	0.8234	1.5733	0.523	0.600712
	CCUVII	-1.4014	1.2584	-1.114	0.265413
	CCUVIII	-6.8214	1344.6084	-0.005	0.995952
Distancia caminos	dc.l	-0.5998	0.2953	-2.031	0.042231 *
Altitud (msnm)	ele.l	-10.2414	2.9767	-3.441	0.000581 *
Null deviance	184.623 on 909 df	*Residual deviance*	87.201 on 903 df		
AIC	101.20			*Nº Observaciones*	910
Pseudo-R² (D2)	0.5277				
Valor de alpha	0.05				* significativos al 95%

Análisis de Regresión Logística. Prob. de habilitación agrícola en bosques, 500m ladera, Cuenca de Casablanca

Factor	Variables	Coeficientes (β)	Error Std.	z-value	Pr(>|z|)
Capacidad de Uso del Suelo	CCUII (intercept)	65.6161	28.2773	2.320	0.0203 *
	CCUIII	1.7293	1.2629	1.369	0.1709
	CCUVI	-15.3174	2136.9458	-0.007	0.9943
	CCUVII	-2.1715	1.5500	-1.401	0.1612
Distancia caminos	dc.l	-1.1393	0.4758	-2.394	0.0166 *
Altitud (msnm)	ele.l	-10.7137	4.7987	-2.233	0.0256 *
Null deviance	91.957 on 269 df	*Residual deviance*	40.129 on 264 df		
AIC	52.129			*Nº Observaciones*	270
Pseudo-R² (D2)	0.5636				
Valor de alpha	0.05				* significativos al 95%