

# Clasificación y Predicción de Cambios de Coberturas del Suelo en la Comuna de Ninhue (secano interior), Provincia de Ñuble, VIII Región

JUAN P. RAMÍREZ<sup>1</sup>

## RESUMEN

Clasificaciones vegetacionales y predicción de cambios obtenidos de imágenes de satélite de la comuna de Ninhue se presentan en este artículo. Tres imágenes del satélite SPOT-XS de los años 1988, 1995 y 2000 fueron usadas para clasificar coberturas vegetacionales. La cobertura vegetal que mayores cambios positivos experimentó fue la plantación forestal, la cual aumentó en un 166%. Por otro lado, la cobertura vegetal que tuvo un cambio negativo fue la pradera con una disminución del 41%. La predicción de cambios de cobertura vegetal se obtuvo mediante el uso de las Cadenas de Markov. En general, se aprecia que las coberturas de mayor biomasa (bosque nativo y plantación forestal) aumentarán su presencia, en cambio, aquellas coberturas de menor biomasa (praderas, espinos) tenderán a decrecer.

## ABSTRACT

Vegetation classification and land cover prediction from Ninhue County obtained through satellite image interpretation are shown in this article. Three SPOT-XS images from the years 1988, 1995 and 2000 were used to classify land cover. Tree planting presented the greatest changes over the study period, which increased in a 166%. On the other hand, prairies experienced a negative change by decreasing in a 41%. Land cover prediction was obtained through the use of Markov's chains. In general, those land cover with higher presence of biomass (i.e. native forest and tree planting) will increase their presence, and those with lower biomass (i.e. prairies and espinos) will have the tendency to decrease.

**Palabras clave:** *Cambios de cobertura / predicción de cambios / secano*

**Key words:** *Land cover changes / land cover prediction / drylands*

---

<sup>1</sup> Juan P. Ramírez, geógrafo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Casilla 426-Chillán. Fono: 42-209781. Fax: 42-209799. E-mail: jramirez@quilamapu.inia.cl

El paisaje geográfico es altamente dinámico y mayormente cambiante a medida que se aleja de un punto de equilibrio en términos económico-productivos o ambientales. Este balance está conectado a los tipos y densidad de coberturas del suelo y de la presión de uso que sobre ellas se ejerza (Meyer y Turner, 1992; Priess *et al.*, 2001). De acuerdo al comportamiento de éstas, será el balance energético resultante de materia y energía sobre la superficie terrestre. Se ha comprobado que la tasa de cambio y la probabilidad de cambio de coberturas del suelo son indicadores esenciales para evaluar la estabilidad de un ecosistema (Serneels y Lambin, 2001). En este sentido, en el manejo de la información espacial nuevos métodos han sido desarrollados para explicar y predecir los cambios que se producen o se producirán en un determinado paisaje dependiendo del comportamiento de las coberturas en el tiempo y espacio. Así en este estudio se usó el método Cadenas de Markov para determinar la probabilidad de cambio de coberturas del suelo en la comuna de Ninhue, localizada en la provincia de Ñuble, VIII región del Bío-Bío, la cual se inserta dentro del agroclima Secano Interior (Del Pozo y Del Canto, 1999). Para determinar las coberturas del suelo que han cambiado se utilizaron imágenes SPOT-XS de los años 1988, 1995 y 2000 las cuales fueron procesadas mediante clasificaciones no supervisadas y supervisadas.

## El problema de estudio

Las presiones económicas, antrópicas o climáticas aceleran los procesos de cambio de cobertura de la superficie terrestre y dependiendo de la intensidad e interrelación entre ellas, el balance energético será positivo o negativo (Lambin *et al.*, 2000). Así por ejemplo, si el paisaje no tiene una alta tasa de resiliencia, los procesos de degradación de suelos y aguas pueden convertirse en irreversibles y las metas de sustentabilidad inalcanzables en el corto o mediano plazo sino se realizan medidas de conservación que alivien los procesos degradacionales (Rao y Pant, 2001). Es decir la meta, en cuanto a un manejo sustentable del paisaje, consiste en estrechar la brecha entre el evento de la perturbación y el período de recuperación del ecosistema. En particular, los territorios del secano costero e interior de Chile están siendo altamente afecta-

dos por factores de transformación de las coberturas del suelo amenazando los puntos de equilibrio de sustentabilidad ambiental. Los ambientes de secano están caracterizados por su alto dinamismo de cambio de cobertura los cuales ocurren sobre ambientes altamente frágiles tanto en términos ecológicos como de ocupación humana (Darkoh, 1998).

## Objetivos

### General

Clasificar e identificar las coberturas del suelo con mayor probabilidad de cambio en los próximos años en la comuna de Ninhue.

### Específicos

1) Determinar las coberturas del suelo de la comuna de Ninhue mediante la utilización de imágenes satelitales SPOT-XS.

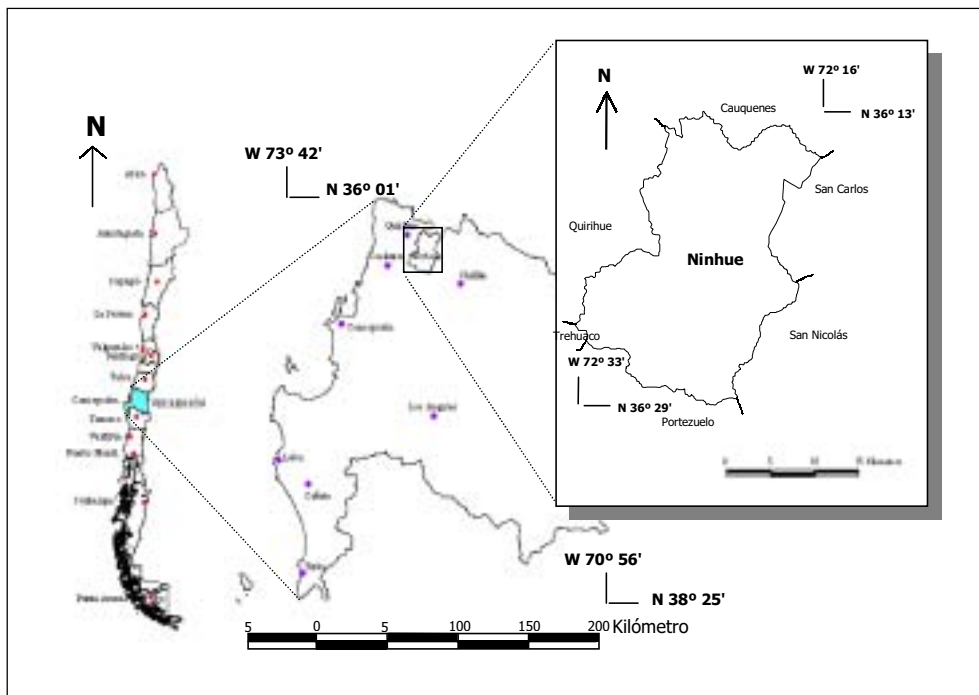
2) Establecer las probabilidades de cambio de las coberturas clasificadas en la comuna de Ninhue en los próximos cinco años utilizando las Cadenas de Markov.

## Área de estudio

### Localización

El área de estudio comprende la comuna de Ninhue (36° 13' - 36°29' S y 72° 16' - 72° 33' W) ubicada en la provincia de Ñuble, VIII región del Bío-Bío. Limita al norte con la VII región del Maule (comuna de Cauquenes), al sur con las comunas de Portezuelo y Trehuaco, al oeste con la comuna de Quirihue y al este con las comunas de San Nicolás y San Carlos (Figura nº 1). Las altitudes varían entre los 39 m s.n.m. (río Lonquén) y los 908 m s.n.m (cerro Coiquén). La comuna tiene una superficie de 400,1 km<sup>2</sup>, y es una de las 9 comunas que conforman el área de secano dentro de la región del Bío-Bío.

FIGURA Nº 1  
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



### *Población y actividad económica*

La comuna de Ninhue cuenta con una población total al año 2001 de 5.996 habitantes (Pladeco, 2001). La población mayoritariamente se dedica a la actividad rural. Dentro de las prácticas agrícolas predominan las rotaciones de trigo con leguminosas de grano (lentejas, arvejas). También son comunes en el área de estudio las plantaciones de viñas de la variedad *País*. El producto es tanto de uva de mesa como de vino, el cual se comercializa o consume a nivel familiar dependiendo si el precio de venta amortiza los costos de producción. La agricultura desarrollada por los campesinos es predominantemente de subsistencia, de autoconsumo familiar. Algunos agricultores también se dedican a la artesanía sobre la base del trigo, trenzando la vaina del trigo a lo que denominan *cuelchas* para hacer *chupallas* y otras artesanías. Estos productos se comercializan en el mismo predio o a intermediarios los cuales compran las *cuelchas* en bruto o directamente los productos terminados. Esta actividad artesanal les significa a los agricultores aumentar sus ingresos lo que les permite solventar gastos inesperados, tales como suplir carencias de alimentación o gastos médicos.

### *Clima y características ambientales*

La comuna de Ninhue se inserta agroclimáticamente dentro de la unidad Secano Interior (Del Pozo y Del Canto, 1999). De acuerdo a la clasificación climática de Papadakis (1966) el área de estudio se define como Mediterránea con influencia marítima, la cual se caracteriza por una marcada estacionalidad de períodos lluviosos en invierno y secos en verano. La variabilidad climática también se expresa a lo largo de los años con períodos continuos de sequía o precipitaciones muy por sobre o bajo el promedio (Figura nº 2). El total promedio de precipitaciones obtenida a lo largo de 40 años en la localidad de Cauquenes (35°58' S, 72°17' W. Elevación: 177 m s.n.m) da un valor de 655 mm; sin embargo, estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio, pero con menos de 20 años de datos dan un valor promedio por sobre los 700 mm. La temperatura promedio anual es de 14.7 °C. La temperatura mínima promedio es de 4.7 °C durante el mes de julio y la máxima promedio es de 27 °C en el mes de enero (Del Pozo y Del Canto, 1999).

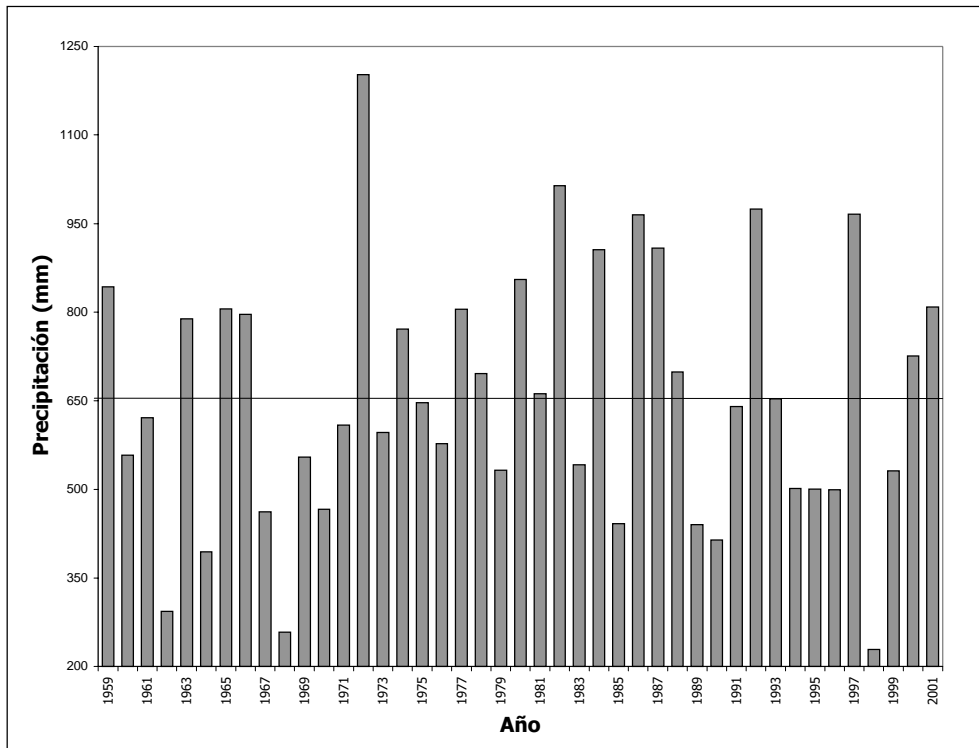
Las lluvias se concentran en un 80 % entre mayo y agosto, y solo un 15 % precipita entre

septiembre y octubre, período que coincide con la práctica agrícola generalizada del barbecho que deja el suelo expuesto a la escorrentía superficial, acelerando los procesos de levigación y erosión hídrica en general. Así, los cultivos deben adaptarse a estas restricciones hídricas de los meses de verano, practicándose la cosecha especialmente del trigo entre mediados y fines de diciembre. Luego, la escasez de precipitaciones no permite el desarrollo de cultivos.

Las tasas de erosión sobre los suelos se estiman en 10-13 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> basado en sistema de labranza tradicional, la cual implica la práctica del arado dejando el suelo descubierto (Sloot et al., 1994). Los suelos del área de estudio son de origen metamórfico, altamente meteorizados, de textura franco arcillosa, altamente compactados, producto de cientos de años de trabajo agrícola

sin que el suelo haya sido protegido por una cubierta vegetal. Esto ha generado que los niveles de fertilidad de los macronutrientes estén en sus valores mínimos (NPK < 5 ppm), como también que la velocidad de infiltración sea baja del orden de 0,1-0,2 mm/hora (Lagos, comunicación personal, 2002). Las pendientes son particularmente altas, en promedio de 11,9° (s = 6,7°). De acuerdo a un estudio dentro de una comunidad de 370 habitantes de la comuna de Ninhue (Ramírez, 2002), la disponibilidad de agua para consumo humano y para labores agrícolas es mínima, alcanzando solo a 24 l por persona al día (l pers<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). Las Naciones Unidas estableció para el año 2000 un umbral mínimo de consumo de agua de 40 l pers<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, por lo que al menos en esta zona está muy por debajo del requerimiento mínimo (U.N., 2001).

FIGURA N° 2  
 PRECIPITACIÓN ANUAL DESDE 1959-2001 (ESTACIÓN METEOROLÓGICA CAUQUENES, 35°58' S, 72°17' W. ELEVACIÓN: 177 M S.N.M.).



## Materiales y métodos

### Imágenes de satélite

Tres imágenes obtenidas por el satélite francés SPOT fueron utilizadas para determinar las coberturas de suelo presentes en la comuna de Ninhue y para evaluar los cambios producidos en ellas entre los años 1988 y 2000. Las características de las imágenes, las fechas de adquisición y los sensores usados son descritos en el cuadro N° 1. El procesamiento digital de imágenes se realizó con los software Erdas Imagine v. 8.4 e Idrisi v. 32.

Las imágenes fueron corregidas radiométrica y geoméricamente para disminuir distorsiones ocasionadas por la atmósfera (polvo, gases), y por la curvatura terrestre, respectivamente. Para la corrección radiométrica se utilizó un modelo digital de elevación (MDE) obtenido de imágenes SPOT el cual modeló la superficie de la comuna para efectos de radiación solar como si la superficie fuera plana (Lambertiana). Este procedimiento fue aplicado a las tres imágenes en estudio. En cuanto a la corrección geométrica, las imágenes del año 1988 y 1995 ya estaban corregidas por lo que sirvieron de base para corregir la imagen del año 2000. Más de 70 puntos de control fueron obtenidos de una de las imágenes para

enlazarla a la imagen no corregida. El error medio cuadrático obtenido de la corrección geométrica fue menor a 0,2 píxeles. Originalmente las imágenes habían sido corregidas usando el Datum SA-56; sin embargo, para efectos de homogeneización de la información cartográfica se optó por cambiar el Datum de referencia al Datum SA-69. Este procedimiento se realizó con el software Erdas Imagine.

Para aumentar la eficiencia de las clasificaciones sobre las imágenes se aplicó una máscara que contenía los límites de la comuna de Ninhue. La digitalización de los límites comunales se realizó con el software Cartalinx 2.1 y se obtuvieron de las cartas topográficas IGM escala 1:50.000 (cartas Ninhue, Coronel de Maule y Quirihue). Así los valores digitales externos a los límites fueron clasificados en cero y los valores digitales que contenían la comuna en uno. Al multiplicar la máscara con cada una de las imágenes se recortó la información digital que no pertenecía al área de estudio.

### Clasificación de coberturas

El tratamiento digital de las imágenes satelitales fue realizado utilizando los Niveles Digitales (ND) de ellas. Se aplicó una clasificación no supervisada a la imagen del año 2000

CUADRO N° 1  
 IMÁGENES SELECCIONADAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE  
 COBERTURAS 1988-2000 EN LA COMUNA DE NINHUE

SPOT #	Sensor multispectral	Bandas Espectrales (µm)	Path/Row	Fecha
2	HRV	Verde: 0,50 - 0,59 Rojo: 0,61 - 0,68	K 670 / J 423	27 abril 1988
3	HRV	IR* cercano: 0,79 - 0,89	K 670 / J 423	16 mayo 1995
4	HRVIR	Verde: 0,50 - 0,59 Rojo: 0,61 - 0,68 IR cercano: 0,79 - 0,89 IR Medio: 1,58 - 1,75 * IR = Infrarrojo	K 670 / J 423	10 enero 2000

con el método de Isodata (*Iterative Self-Organizing Data Analysis*). La clasificación de la imagen se realizó con las bandas verde, rojo e infrarrojo cercano, descartándose la banda del infrarrojo medio para homologar la clasificación a las bandas presentes en los años 1988 y 1995. El método se aplicó varias veces obteniéndose entre 9 y 15 clases. El valor de 9 clases resultó el más apropiado para realizar una primera aproximación a las coberturas de la comuna de Ninhue considerando que estudios previos habían determinado 7 clases de coberturas en la comuna (CONAF-CONAMA, 1999). En pantalla, se desplegó simultáneamente la imagen clasificada con el método no supervisado y la imagen original desplegada en falso color convencional para corroborar si las unidades vegetacionales estaban correctamente definidas.

Las coberturas del área de estudio fueron comprobadas con salidas a terreno y registradas con sus coordenadas geográficas con un GPS Garmin III Plus. En terreno se verificó la composición de la vegetación y la densidad de cobertura. Un total de 37 puntos de control fueron visitados en terreno con el procedimiento descrito. La clasificación no supervisada sirvió de guía para determinar áreas con similares características espectrales para posteriormente aplicarlas a la clasificación supervisada (Lillesand y Kiefer, 1994). Para la clasificación supervisada se aplicó el método de las "Mínimas Distancias" ya que de acuerdo a la literatura es la que presenta menores errores de comisión y omisión (Eastman, 2001). Para determinar el grado de confianza entre la clasificación supervisada y la información de terreno se aplicó el Índice Kappa con un 95 % de confianza. El método supervisado luego se aplicó a las imágenes del año 1988 y 1995.

## Cadenas de Markov

Para determinar la probabilidad de cambio de las coberturas se aplicó el método de las Cadenas de Markov. Este método consiste en asumir que el mejor predictor para determinar cambios de coberturas del suelo es el uso pasado y actual de dicha cobertura (Irwin y Geoghegan, 2001). El método asigna transiciones de probabilidad de cambio que en el caso de dos coberturas, por ejemplo de praderas y bosque, es el siguiente:

- 1) El bosque se mantiene bosque;
- 2) El bosque cambia a pradera;
- 3) La pradera se mantiene pradera, o
- 4) La pradera cambia a bosque.

La probabilidad de la transición de una cobertura a otra puede ser ajustada de acuerdo al intervalo del análisis, en este caso por ejemplo de 5 años entre las coberturas presentes en el año 1995 y el año 2000. Así, el modelo examina la probabilidad que cada clase presente en el año 1995 sea convertida a otra clase en el año 2000. Para la predicción de cambio de cobertura el modelo asume que la cobertura convertida en el año 2000 depende del uso presente en el año 1995. Ya que el intervalo es de 5 años, la predicción de cambio es para el año 2005.

## Resultados y Discusión

Sobre la base de la clasificación supervisada se obtuvieron 6 clases de coberturas del suelo, más la clase suelo desnudo; éstas fueron: 1) Matorral, una mezcla de vegetación esclerófila, tales como peumo (*Peumus boldus*), quillay (*Quillaja saponaria*), litre (*Lithraea caustica*); 2) Espino (*Acacia caven*), con densidades superiores al 30 % de cobertura; 3) Pradera, la cual incluye campos agrícolas; 4) Vegetación de quebrada, la cual es una mezcla de álamos, sauces y árboles frutales que se ubican en los fondos de quebrada y márgenes de esteros; 5) Plantaciones forestales (pino: *Pinus radiata* D. Don y eucalipto: *Eucalyptus globulus* spp. *globulus*); 6) Bosque nativo, el cual incluye especies nativas (roble: *Nothofagus obliqua*), y 7) Suelo desnudo, el cual incluye suelo expuesto, caminos, y áreas de barbecho. Las superficies y porcentajes de cada cobertura por año pueden ser apreciados en el cuadro N° 2. Los cambios de tendencia de las 7 coberturas durante las tres fechas de análisis pueden ser apreciados en la Figura n° 3.

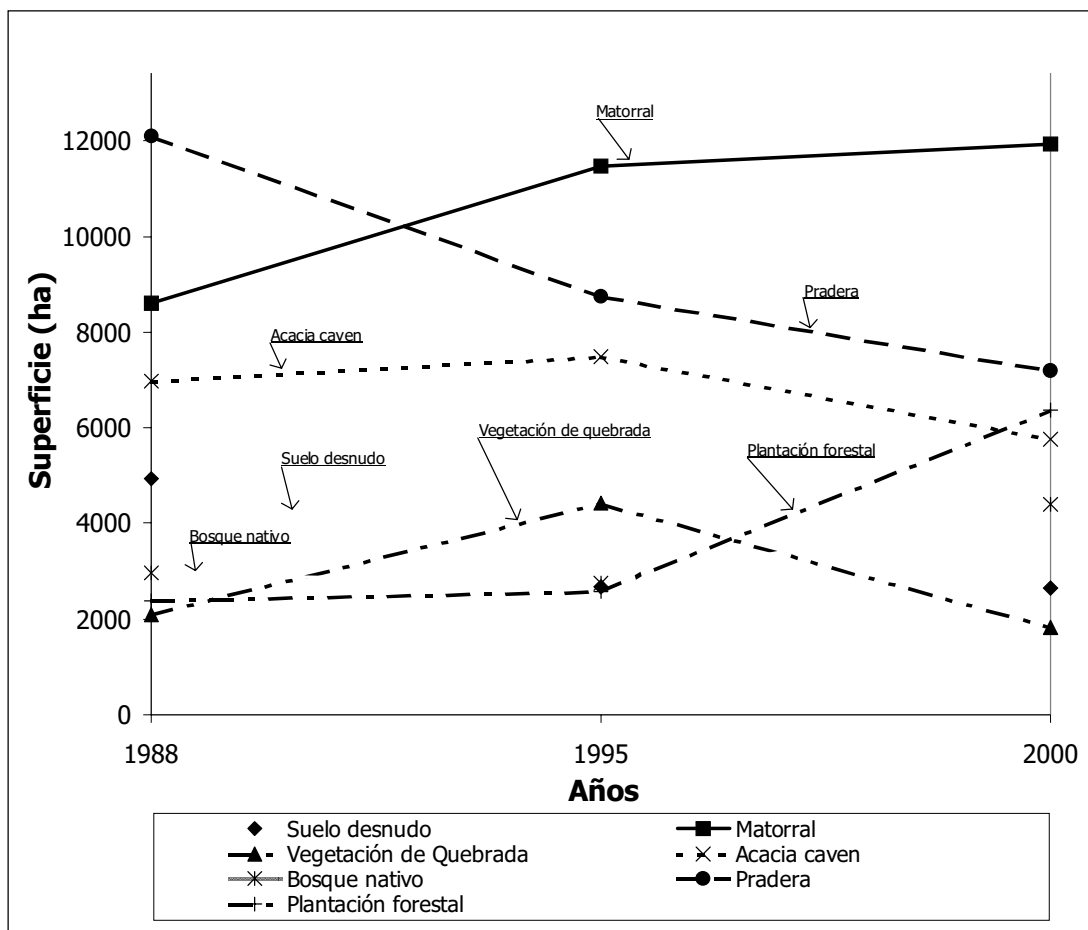
La imagen SPOT del año 1988 (Figura n° 4) muestra que el sector noroeste de la comuna fue afectado por un incendio forestal que abarcó 2.400 ha. De acuerdo a la clasificación supervisada de ese año y a la comprobación de campo, las coberturas mayormente afectadas por el incendio fueron matorrales y bosque nativo, coberturas que tuvieron cambios positivos al año 1995 y 2000, respectivamente (Figura n° 3). Los prin-

CUADRO N° 2  
SUPERFICIE EN HECTÁREAS (HA), PORCENTAJE DE CADA COBERTURA, Y PORCENTAJE DE  
CAMBIO ENTRE LOS AÑOS 1988, 1995 Y 2000

Cobertura	1988		1995		2000		% cambio 1988-2000
	ha	%	ha	%	ha	%	
Suelo desnudo	4940	12,3	2673	6,7	2639	6,6	-46,6
Matorral	8612	21,5	11466	28,6	11928	29,7	38,5
Acacia caven	6981	17,4	7483	18,7	5771	14,4	-17,3
Pradera	12111	30,2	8738	21,8	7200	18,0	-40,5
Vegetación de Quebrada	2100	5,2	4417	11,0	1814	4,5	-13,6
Plantación forestal	2385	5,9	2572	6,4	6356	15,9	166,5
Bosque nativo	2969	7,4	2749	6,9	4389	10,9	47,8
Total	40098	100,0	40098	100,0	40098	100,0	

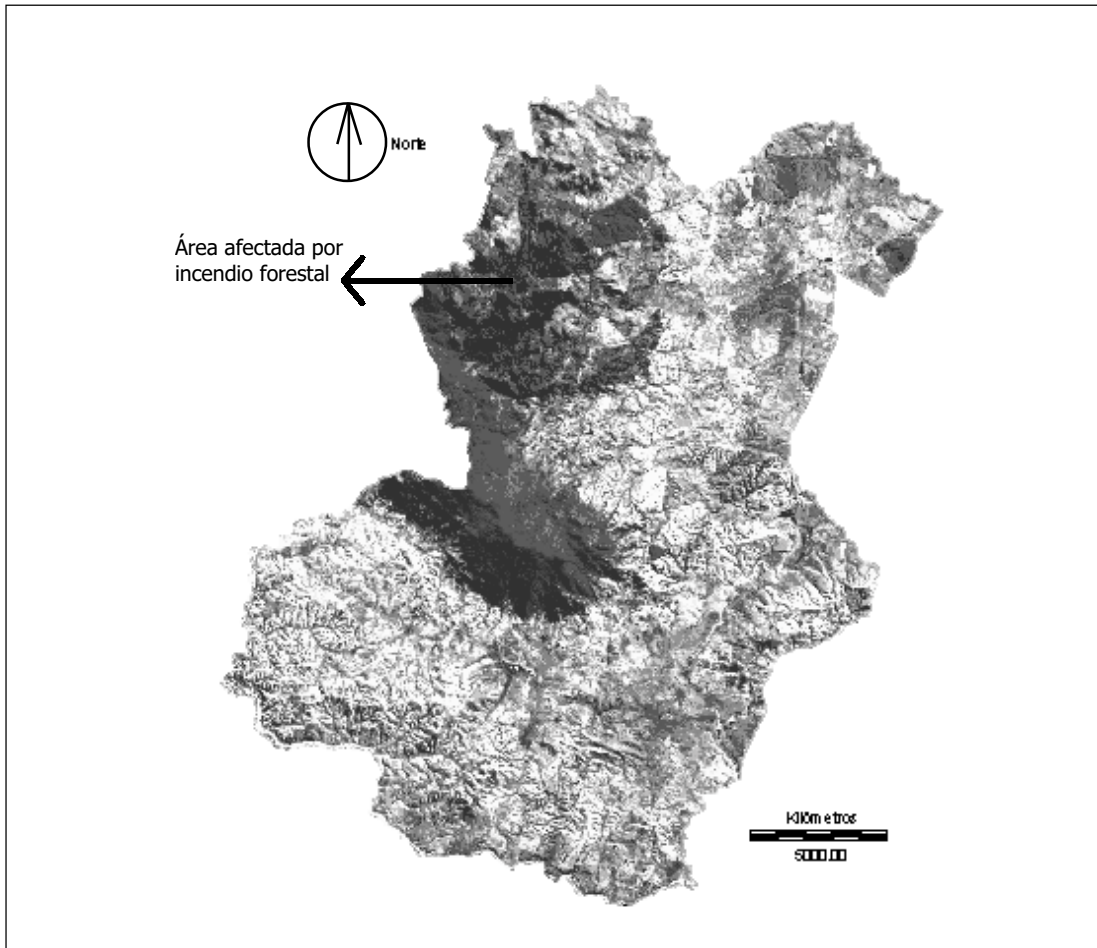
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA N° 3  
CAMBIOS DE TENDENCIA DE LAS COBERTURAS VEGETACIONALES



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA N° 4  
IMAGEN SATELITAL SPOT DEL AÑO 1988.



Fuente: SpotImage.

cipales cambios de cobertura durante el período de estudio se producen en las plantaciones forestales las cuales crecen en un 166%. Las principales coberturas contribuidoras a este cambio son los matorrales (2418 ha, 34%), vegetación de quebrada (2125 ha, 30%), bosque nativo (1001 ha, 14%) y praderas (938 ha, 13%). En menor cantidad los aportes provienen del espino (586 ha, 8%) y suelo desnudo (99 ha, 1%). Al año 2000, las plantaciones forestales representaban un 16% del total de la comuna, en comparación a tan sólo un 6% en el año 1988.

Hasta el año 1995 las praderas, matorrales y espinos eran las coberturas preponderantes en el área de estudio, representando un 51% del área total de la comuna. Estas coberturas son forma-

ciones vegetacionales inherentes a los ambientes de secano mediterráneos. Sin embargo, en el año 2000, la presencia de estas coberturas disminuye a un 37%. Una de las razones de estas pérdidas podrían haber sido originadas por la sequía que afectó a esta zona en el año 1998, la más severa del siglo, dañando especialmente a las praderas y espinos las cuales serían mayormente sensibles al estrés hídrico (Archer y Stokes, 2000).

La probabilidad de cambio de cobertura usando las cadenas de Markov a las imágenes clasificadas en los años 1995 y 2000 mostró qué coberturas presentaban la mayor probabilidad de cambio. El cuadro N° 3 indica por cobertura cuál es la probabilidad de cambio a otra cobertura o de mantenerse como tal al año 2005.



CUADRO N° 3  
PROBABILIDAD DE CAMBIO DE COBERTURA AL AÑO 2005

	Suelo desnudo	Matorral	Vegetación de quebrada	Espino	Bosque nativo	Pradera	Plantación forestal
<b>Dado:</b>							
Suelo desnudo	0,21	0,17	0,01	0,11	0,00	<b>0,47</b>	0,03
Matorral	0,04	<b>0,41</b>	0,05	0,17	0,07	0,12	0,15
Vegetación de quebrada	0,01	0,19	0,08	0,12	0,18	0,04	<b>0,38</b>
Espino	0,09	<b>0,38</b>	0,04	0,15	0,01	0,27	0,06
Bosque nativo	0,00	0,07	0,01	0,00	<b>0,64</b>	0,00	0,28
Pradera	0,11	<b>0,28</b>	0,05	0,21	0,01	0,26	0,09
Plantación forestal	0,01	0,09	0,05	0,03	0,34	0,01	<b>0,47</b>

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al análisis de probabilidad, el suelo desnudo es medianamente probable que cambie a pradera ( $p = 0,47$ ). Del mismo modo, el matorral es medianamente probable que se mantenga como tal ( $p = 0,41$ ). La vegetación de quebrada tiene una probabilidad media de convertirse a plantación forestal ( $p = 0,38$ ), tal como se ha ido manifestando durante el período de estudio. En el espino fue encontrada una mediana probabilidad de cambiar a matorral ( $p = 0,38$ ), aunque la probabilidad de convertirse a pradera es mediana a baja ( $p = 0,27$ ). La cobertura que presentó mayor estabilidad probabilística de mantenerse como tal fue el bosque nativo ( $p = 0,64$ ). Esto podría explicarse por la sólida ubicación de esta cobertura en los cerros de la comuna, lo que la protege de la invasión de coberturas vegetacionales menos tolerantes a fuertes pendientes, suelos delgados, menores temperaturas y a exposición de laderas en umbría.

De acuerdo a las probabilidades obtenidas de las cadenas de Markov las coberturas tienden en general a aumentar de biomasa al año 2005. Esto es particularmente importante respecto a la cobertura suelo desnudo la cual sería reemplazada por praderas. Las praderas a su vez, quedarían

como tal ( $p = 0,26$ ) o serían cubiertas por matorrales ( $p = 0,28$ ), lo que significa un aumento de la biomasa vegetacional. La vegetación de quebrada sería la cobertura que podría desaparecer en el corto plazo como consecuencia del habilitamiento de tierras para plantaciones forestales.

Al calcular los promedios de las probabilidades por cobertura (cuadro N° 4) se aprecia que la vegetación de quebrada es donde menor probabilidad existe de cambio por parte de las restantes coberturas (todas las coberturas presentan  $p < 0,08$ ). Esto se podría explicar por la muy específica localización de la vegetación de quebrada y por su escasa importancia económica que la hace poco atractiva comercialmente. Esto se manifiesta en que esta cobertura sea probablemente convertida a coberturas más rentables como plantaciones forestales. En el otro extremo, el matorral representa la cobertura donde mayor cantidad de coberturas tienen probabilidad de ser convertidas, le sigue en importancia la plantación forestal y el bosque nativo. Estas tres coberturas se localizan en ecosistemas similares, de alta importancia económica.

CUADRO N° 4  
PROBABILIDAD DE CAMBIO PROMEDIO  
POR COBERTURA

Cambio de cobertura a:	Probabilidad promedio
Vegetación de quebrada	0,04
Suelo desnudo	0,07
Espino	0,11
Pradera	0,17
Bosque nativo	0,18
Plantación forestal	0,20
Matorral	0,23
Total	1,00

Fuente: *Elaboración propia.*

## Conclusiones

El seguimiento permanente y sistemático del secano se presenta como una acción vital para detectar la velocidad de cambio y dónde los procesos de conversión y transformación de coberturas están ocurriendo. Pero además, determinar la probabilidad de cambio de coberturas en el futuro cercano se presenta como una herramienta correctiva para la toma de decisiones sobre el manejo de espacios dinámicos como lo representa el secano. En particular, en la comuna de Ninhue, las plantaciones forestales han tenido un progresivo y explosivo aumento, especialmente en el último período de análisis (1995-2000). Este aumento ha sido posible a partir de la conversión de coberturas presentes en el área tales como matorrales, vegetación de quebradas y praderas.

El área de estudio presenta positivos cambios de coberturas en aquellas de mayor valor de biomasa, como las plantaciones forestales, bosque nativo y matorrales, las cuales tienen una significativa importancia silvícola. Aquellas coberturas con menor biomasa y menor valor comercial tienden a decrecer en superficie, como es el caso de las praderas y vegetación de quebrada.

Las imágenes de satélite SPOT-XS fueron adecuadas para analizar los eventos descritos en este trabajo ya que permiten, con un alto grado de certeza, clasificar las coberturas del suelo, aun

en lugares donde existe una gran diversidad de coberturas sobre topografías y ambientes muy disímiles como los que se presentan en la comuna de Ninhue. Por otra parte, el uso de las cadenas de Markov resultó una herramienta de análisis probabilístico útil que permite determinar las coberturas mayormente probables a ser convertidas o mantenidas como tal, tomando en consideración los comportamientos ocurridos en el pasado, comparándolos con el presente y proyectándolos en el futuro. A pesar de estos avances, aún queda mucho por estudiar ya que el espacio geográfico no solamente se transforma por eventos naturales, sino que especialmente, como se ha venido observando, por presiones espaciales de competencia a los cuales se les asigna valor económico. Modelar y reducir los errores predictivos de toma de decisiones sobre el espacio es el gran desafío para los años venideros.

## Agradecimientos

El autor agradece el apoyo financiero y logístico obtenido para la realización de este estudio de parte del Proyecto CADEPA de los gobiernos de Chile y Japón representado por las instituciones INIA y JICA, respectivamente. De la misión japonesa en particular, se agradece el apoyo de los Sres. Sakamoto, Shinomi y Kondo. De la parte chilena se agradece al director del proyecto, Ing. Agrónomo Dr. Claudio Pérez por la obtención de la imagen SPOT-XS del año 2000, y al personal técnico de apoyo en terreno en los nombres de Marcelino Claret y Manuel Palacios. Por último, se agradece a los dos evaluadores anónimos que realizaron importantes contribuciones para mejorar el artículo.

## Bibliografía

ARCHER, S. y STOKES, C. J. Stress, disturbance and change in rangeland ecosystems. In ARNALDS, O. y ARCHER, S., eds. Rangeland Desertification Advances in Vegetation Science, Kluwer Publishing Company, 2000, vol. 19, p. 17-38.

CONAF-CONAMA. *Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Regional Octava Región*. Santiago, Chile: CONAF. 1999. 130 p.

DARKOH, M.B.K. The Nature, Causes and Consequences of Desertification in The Drylands of Africa. *Land Degradation and Environment*, 1998, N° 9, p. 1-20.

DEL POZO, A. y DEL CANTO, P. Áreas Agroclimáticas y Sistemas Productivos en la VII y VIII Regiones. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán, Chile: Centro Regional de Investigación Quilamapu, 1999, 115 p.

EASTMAN, J.R. *Idrisi Guide to GIS and Image Processing, volume 2. Idrisi32, Release 2.* Worcester: Clark University, 2001, 144 p.

IRWIN, E.G. y GEOGHEGAN, J. Theory, Data, Methods: Developing Spatially Explicit Economic Models of Land Use Change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, N° 85, p. 7-23.

LAGOS, O. Comunicación personal. 2002.

LAMBIN, E.F., ROUNSEVELL, M.D.A. y GEIST, H.J. Are Agricultural Land-Use Models Able to Predict Changes in Land-Use Intensity? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, N° 82, p. 321-331.

LILLESAND, T.M. y KIEFER, R.W. *Remote Sensing and Image Interpretation.* New York: John Wiley and Sons Inc, 1994, 750 p.

MEYER, W. y TURNER, B. Human Population Growth and Global Land-Use/Cover Change. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1992, N° 23, p. 39-61.

PAPADAKIS, J. *Climates of the World and their Agricultural Potentialities.* Buenos Aires, Argentina, 1966, 170 p.

PLADECO. *Programa Aplicaciones de Planes de Desarrollo comunal, VIII Región del Bío-Bío. comuna de Ninhue. Estudios Previos y Propuesta de Plan de Desarrollo comunal 2001-2005.* Región del Bío-Bío, Concepción, Chile. 2001. 120 p.

PRIESS, J.A., DE KONING, G.H.J y VELDKAMP, A. Assessment of Interactions Between Land Use Change and Carbon and Nutrient Fluxes in Ecuador. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, N° 85, p. 269-279.

RAO, K.S. y PANT, R. Land Use Dynamics and Landscape Change Pattern in a Typical Micro Watershed in The Mid Elevation Zone of Central Himalaya, India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, N° 86, p. 113-123.

RAMÍREZ, J. Peasant rationality and land cover changes in the central drylands of Chile. Thesis Ph.D. in Geography. University of Nebraska-Lincoln, USA. 2002. 189 p.

SERNEELS, S. y LAMBIN, E. F. Proximate Causes of Land-Use Change in Narok District, Kenya: A Spatial Statistical Model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, N° 85, p. 65-81.

SLOOT, P.H.M., JELDRES, D. I., MORIMOTO, K., DEL POZO, A. y RIQUELME, J. Calibration of the erosion-productivity model EPIC for three soil tillage systems in the Secano Interior of Chile. 8<sup>th</sup> Conference of the International Soil Conservation Organization, 4-8 December 1994, New Delhi, India.

U.N. *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies.* United Nations Commission on Sustainable Development. New York: FAO, 2001, 310 p.