Quebracho 11: 9-21

Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo

Modeling and prognosis of the spatial change in land use

V. Sandoval[1] y V. Oyarzun[2]

Recibido en julio de 2003, aceptado en noviembre de 2003.

RESUMEN

La modelación estadístico-espacial del cambio en el uso del suelo, se deriva de la combinación y uso de técnicas cartográficas, sistemas de información geográfica y modelos estadísticos multivariantes. Su objetivo principal es identificar la magnitud y distribución espacial del cambio, proyectar y desplegar cartográficamente su probabilidad de ocurrencia en el futuro cercano, bajo el supuesto que las técnicas de manejo del suelo continuarán siendo similares al pasado cercano. Las variables independientes más utilizadas en este tipo de modelos son: distancia a los mercados, infraestructura vial, topografía, calidad de suelos, precipitación, fragmentación del bosque, etc.

En el presente artículo se discuten aspectos teóricos y prácticos utilizados en el proceso de modelamiento espacial del uso de la tierra.

Palabras Clave: modelación, análisis espacio temporal, SIG

ABSTRACT

The statistical-space modeling of the change in the use of the ground are derived from the combination and use of cartographic techniques, GIS and multivariant statistical models.

Its primary objective is to identify the magnitude and space distribution of the change, cartographically to project and to unfold its probability of occurrence in the near future, under if the techniques of handling of the ground will continue being similar to the near past. The more independent variables used in this type of models are: distance to the markets, road infrastructure, topography, quality of grounds, precipitation, forest fragmentation, etc.

In the present article are discussed theoretical and practical aspects used in the process of space modelamiento of the earth use.

Key words: modeling, spatial temporal analysis, GIS.

1. Modelamiento espacial del cambio en el uso del suelo

En las últimas dos décadas se han incrementado las investigaciones relacionadas con el análisis y modelamiento del cambio en el uso del suelo, principalmente los referidos al proceso de deforestación en países tropicales (Kaimowitz y Angelsen, 1998). Muchos de estos modelos están ligados a estudios del ciclo global del carbono o impulsados por la búsqueda de las causas y consecuencias del cambio climático, pérdida de biodiversidad o modelamiento del paisaje (Lambin, 1997).

[1] Facultad de Ciencias Forestales Universidad Austral de Chile
[2] Corporación Nacional Forestal, Chile

En general los esfuerzos de analizar y modelar los procesos de cambio de uso del suelo se orientan a responder las siguientes interrogantes: ¿por qué ocurre el cambio en el uso del suelo?, ¿dónde? y ¿cuándo ocurre el cambio?. Estas tres interrogantes fundamentales, son abordadas a través de metodologías apoyadas en el uso de sensores remotos y análisis estadístico espacial (Lambin, 1997; Turner y Gardner, 1990).

Una completa revisión de modelos relacionados al análisis del proceso de cambio en el uso del suelo, desde el punto de vista espacial, es descrita por Baker (1989); Shugar et al, (1985); Parks y Peters, (1990), Turner y Gardner (1990), Lestón y Bucland (1993), Lambin, (1994). En trabajos recientes Kaimowitz y Angelnsen (1998) efectúan una revisión de modelos económicos de deforestación, focalizándose principalmente en los que explican las causas y comportamiento de los propietarios de la tierra y la relación de sus decisiones con el resto de la economía. En esta interpretación socio-económica del cambio del uso del suelo, específicamente de la deforestación tropical, el autor identifica causas, agentes de deforestación, parámetros de decisión e instrumentos políticos y económicos fundamentales que intervienen e interactúan en el proceso global de deforestación. Desde un punto de vista operacional Lambin (1994) diferencia tres principales tipos de modelos para explicar el proceso de cambios en el uso del suelo: empíricos, algorítmicos y sistémicos. Los primeros imitan las relaciones reales existentes entre las variables que explican el cambio de uso y asumen que estas continuaran así en el futuro. En los modelos algorítmicos los procesos individuales de un sistema son descritos por ecuaciones simples, pero bajo principios científicos. Finalmente los modelos sistémicos se enfocan a explicar el funcionamiento e interacción de todos los componentes de un ecosistema.

En un ordenamiento general de los diferentes enfoques metodológicos del estudio del cambio de uso del suelo, Lambin (1997) presenta los siguientes escenarios de investigación y sus líneas de aplicación. (cuadro 1).

Cuadro 1 Áreas de investigación y metodologías en el estudio del cambio de uso del suelo.

Área de Investigación	Que es necesario conocer ahora del proceso de cambio	Que es necesario conocer en el futuro del proceso de cambio	Metodología general	Técnicas posibles de usar
Proyección de tasas superficies con cambio de uso	¿Cuándo y cuanto en el pasado?	¿Cuándo y cuanto en el futuro?	Modelos de probabilidad de transición, Análisis de series de tiempo	Cadena de Marcov; Modelos basados en funciones logísticas
(*) Identificación de factores orientadores del cambio y proyección espacial	(*) ¿Dónde y cuanto en el pasado?	(*) ¿Dónde y cuanto en el futuro?	(*) Modelamiento estadístico multivariante-espacial	(*) Regresión múltiple Modelos espacial estadístico basado en SIIG
Planificación nacional del uso de la tierra	¿Dónde, cuándo y por qué en el pasado?	¿Cuándo y dónde en el futuro?	Modelos ecosistemas, Modelos espaciales de cambio	Simulación espacial, Regresiones logísticas, Modelos econométricos, geoestadistica
Intervención política correctiva o preventiva	¿Dónde, cuando y por qué en el pasado?	¿Por qué en el futuro?	Modelos económicos	Von Thünen -Like modelos

Desde la perspectiva de los modelos espaciales señalados en el cuadro1, se destacan tres elementos importantes: (a) el vector de cambio que indica donde y cuando ocurre este en el pasado y donde ocurrirá en el futuro cercano, (b) la matriz o balance de superficies que representa la orientación del cambio, y (c) índices estadísticos de asociación entre áreas de cambio y los factores ambientales y socioeconómicos del área. Estos elementos, en el marco de una estrategia y flujo de modelamiento, se describen la figura 1.

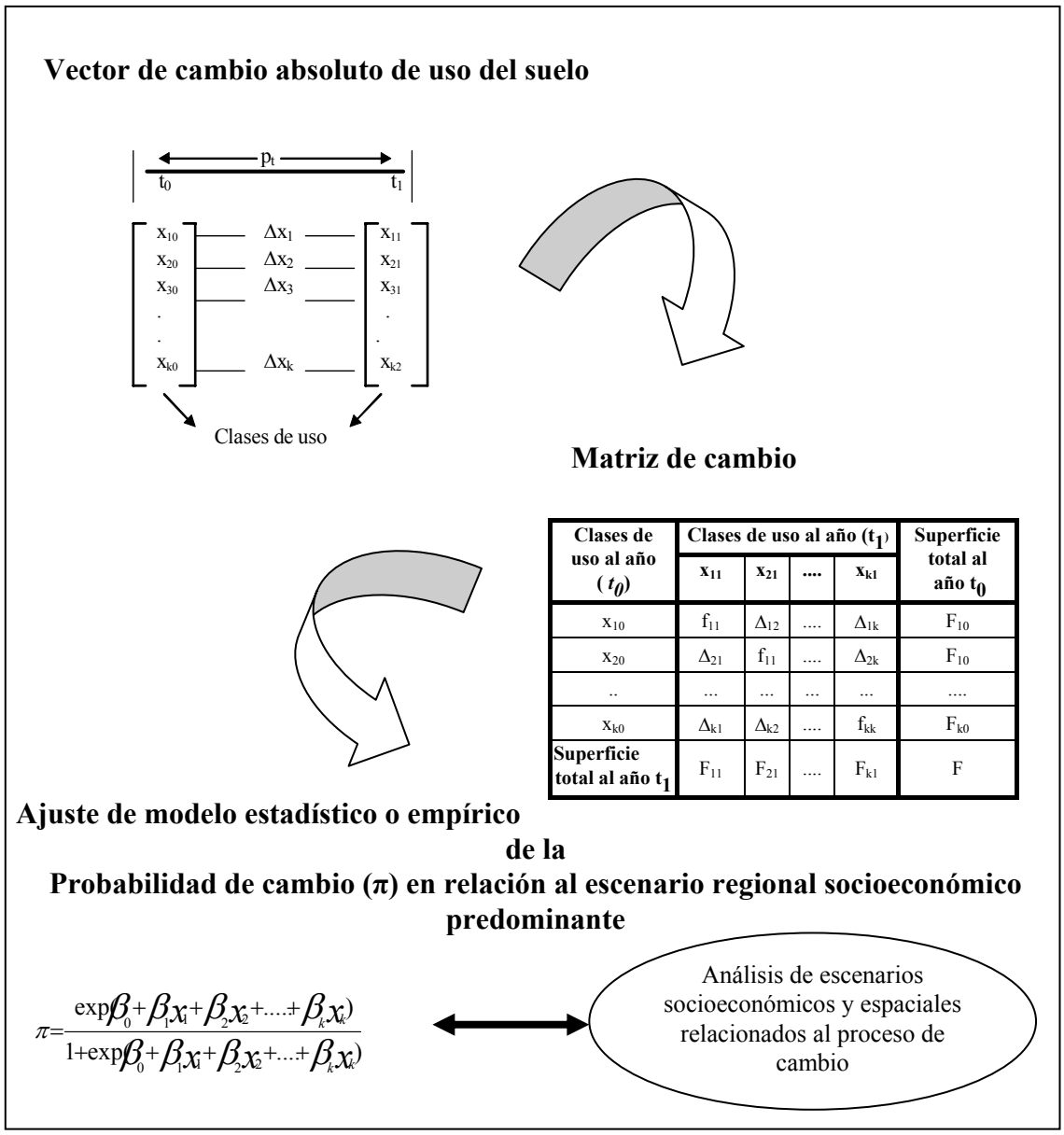


Figura 1: Principales componentes en una estrategia de observación, análisis y proyección espacial del cambio en el uso de la tierra.

2. Ejemplo numérico de observación, análisis y proyección espacial del cambio

Utilizando los componentes de observación y análisis descritos en los puntos anteriores, se estudia el proceso de transformación de los usos de la tierra, desde praderas, agrícolas y matorrales a plantaciones forestales, y su relación con factores geofísicos del área como son el uso actual de la tierra, distancia a caminos, tamaño de la propiedad etc. El análisis esta circunscrito a un período de 5 años, desde 1994 a 1998, sobre una área de 60.000 ha ubicadas en el valle central de la VIII región.

2.1. Material y estructura de datos alfanumérico

La cartográfica empleada en el análisis del cambio de este ejemplo corresponde a fotografías aéreas y diapositivas de los vuelos CONAF/ FONDEF 1994 escala 1: 20.000 y CONAF 1998 escala 1:115.000, cartografía temática disponible en el área de estudio y modelos de elevación digital derivados de la cartografía topográfica.

La información alfanumérica y grafica de la zona se estructuró en un modelo de datos relacional, considerando áreas con atributos ambientales y temáticos similares. Estas se denominan **Unidades Homogéneas del Terreno** (UHT) y se obtiene a partir de cruce digital entre las coberturas cartográficas disponibles y derivadas para este ejercicio.

Las UHT se describen según la siguiente expresión matricial:

$$UHT_{ij}$$

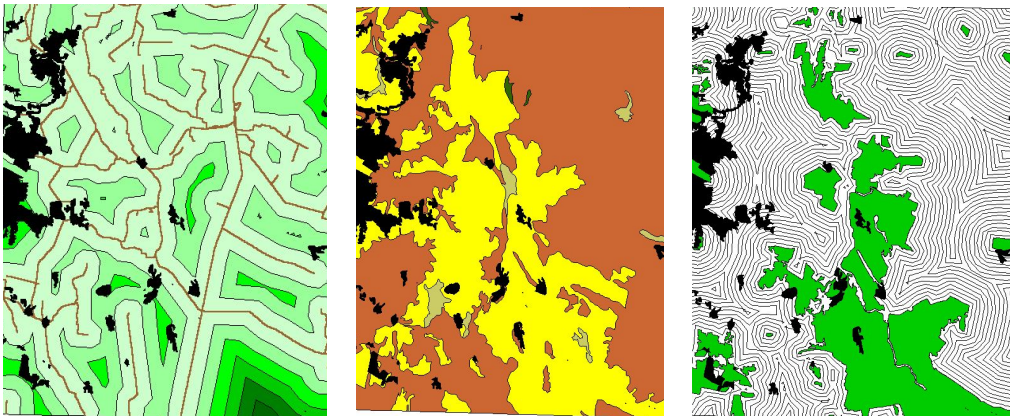
Donde:
UHT_{ij} = Unidad Homogénea de terreno
i =1,2.....n
j =1,2..... k
n =Numero de unidades espaciales consideradas en el estudio
k =Numero de variables o clases temáticas incluidas en el estudio

En el ejercicio las variables espaciales o categorías evaluadas en relación al cambio de uso son:

- Uso del suelo (inicio y termino del período).
- Uso Potencial del suelo.
- Estructura y tamaño de propiedad.
- Distancia a caminos.
- Distancia a plantaciones forestales.
- Variables ambientales (pendiente, exposición, altitud).

2.2 Examen visual preliminar del proceso de cambio

En esta primera observación es importante el conocimiento experto de las funcionalidades del paisaje y de las relaciones lógicas entre los componentes del medio y las actividades humanas que se realizan en el área de estudio, esto con el objeto de efectuar una lectura consistente de la cartografía temática territorial. Mediante este análisis inicial es posible eliminar algunas variables o incluir algunas combinaciones que presenta una relación geográfica más nítida con el proceso de cambio. En la figura 2 se presentan algunas de estas relaciones entre el cambio de uso y algunas variables temáticas consideradas en este ejemplo.



(a) (b) (c)

Figura 2: Relación entre el cambio de uso del suelo (color negro) y las variables (a) distancia a camino en anillos equidistantes de 300m, (b) uso potencial del suelo y (c) distancia a plantaciones establecidas.

En la figura 2a y 2c, por ejemplo, se aprecia la inexistencia aparentemente de relaciones geográficas entre el cambio y la distancia a los caminos. Similar relación se aprecia entre el cambio de uso y áreas con plantaciones establecidas. En 2b se observa que mayoritariamente el proceso de cambio desde terrenos agrícolas a terrenos forestados, ocurre en principalmente en suelos de uso potencial II (color amarillo).

2.3. Análisis de la dirección del cambio

La estructura de uso de la tierra para el año 1994 (**t_0**) y 1998 (**t_1**) del área de estudio se indican en el cuadro 2. La tabla señala que el año 1994 el uso del suelo es representado principalmente por las clases agrícolas y plantaciones forestales con 35.200 ha (57 %) y 13.176 ha (21,5 %) respectivamente. En segundo orden de magnitud se encuentran las clases matorral y praderas con el 7,7 % y 7,4 % de la superficie total. Las restantes clases de uso, cuerpos de agua, áreas urbanas, bosque natural y plantaciones jóvenes representan en total 2,1 % de la superficie estudiada.

Cuadro 2 Cambio absoluto de uso del suelo, periodo 1994-1998

Uso actual del suelo	Superficie 1994 (ha)	Superficie 1998 (ha)	Diferencia (ha)	% (de 1994)
Urbano	75,9	75,9	0	0,0
Agrícola	35200,5	33937,5	-1263	-2,1
Praderas	4533,2	2824,1	-1709,1	-2,8
Matorrales	7158,7	7709,8	551,1	0,9
Plantacione (adultas)	13176,8	9265	-3911,8	-6,4
Plantacione (jóvenes)	43,7	6357	6313,3	10,3
Bosque Natural	90,3	165,9	75,6	0,1
Lagunas	1075,7	1019,8	-55,9	-0,1
Total	61354,8	61355,0	0,2	

Las modificaciones en el periodo p_t, según el cuadro 2, se produjeron al interior de la clase de uso plantaciones forestales, con un incremento de la sub-clase plantaciones jóvenes en 6.300 ha y una disminución de 3.955 ha en las plantaciones adultas, lo que corresponde a + 10,3 y – 6,4 % respectivamente. Por otra parte se observa una disminución de la clase suelos agrícolas y ganaderos en 1.263 y 1.709 ha, lo que corresponde a un 2,1 y 2,6 % de superficie total en 1994 respectivamente.

El balance de superficie que indica la matriz de cambio del uso del suelo (cuadro3), posibilita la cuantificación del traspaso de superficie entre las diferentes clases de uso durante este período.

Cuadro 3: Matriz cruzada en el cambio de uso entre los años 1994 y 1998 (ha.)

	Uso del suelo año 1998								
Uso del suelo año 1994	**Urbano.**	**Agrícola**	**Parderas**	**Matorrales**	**Plantaciones adultas**	**Plantaciones jóvenes**	**Bisque nativo**	**Lagunas**	**Total 1994**
Urbano.	76	0	0	0	0	0	0	0	76
Agrícola	0	33938	0	901	152	210	0	0	35201
Praderas	0	0	2824	0	10	1699	0	0	4533
Matorrales	0	0	0	6809	110	164	76	0	7159
Plantaciones adultas	0	0	0	0	8992	4185	0	0	13177
Plantaciones jóvenes	0	0	0	0	0	44	0	0	44
Bosque nativo	0	0	0	0	0	0	90	0	90
Lagunas	0	0	0	0	0	56	0	1020	1076
Total 1998	76	33938	2824	7710	9265	6357	166	1020	61355

Las cifras indican que el incremento de superficies ocurrido en la clase de uso Plantaciones, subclase Plantaciones jóvenes, provienen principalmente de la subclase Plantaciones adultas con 4.185 ha (65% de la superficie total de la clases al año 1998) y de la clase de uso Praderas que aporta 1.699 ha (27 %). Las restantes superficies transferidas a plantaciones jóvenes provienen de los usos agrícolas y matorral con un total de 374 ha, 6% de la superficie forestada al año 1998. Otro aspecto importante que se aprecia en la matriz de cambios es que el 95 % de la superficie modificada en la clase de uso Praderas es transferido a plantaciones forestales. En forma similar se observa un flujo de superficies agricolas a la clase de usomatorrales de 901 ha, lo que se interpreta como una primera fase de transferencia antes de ser transformada definitivamente a plantaciones Forestales.

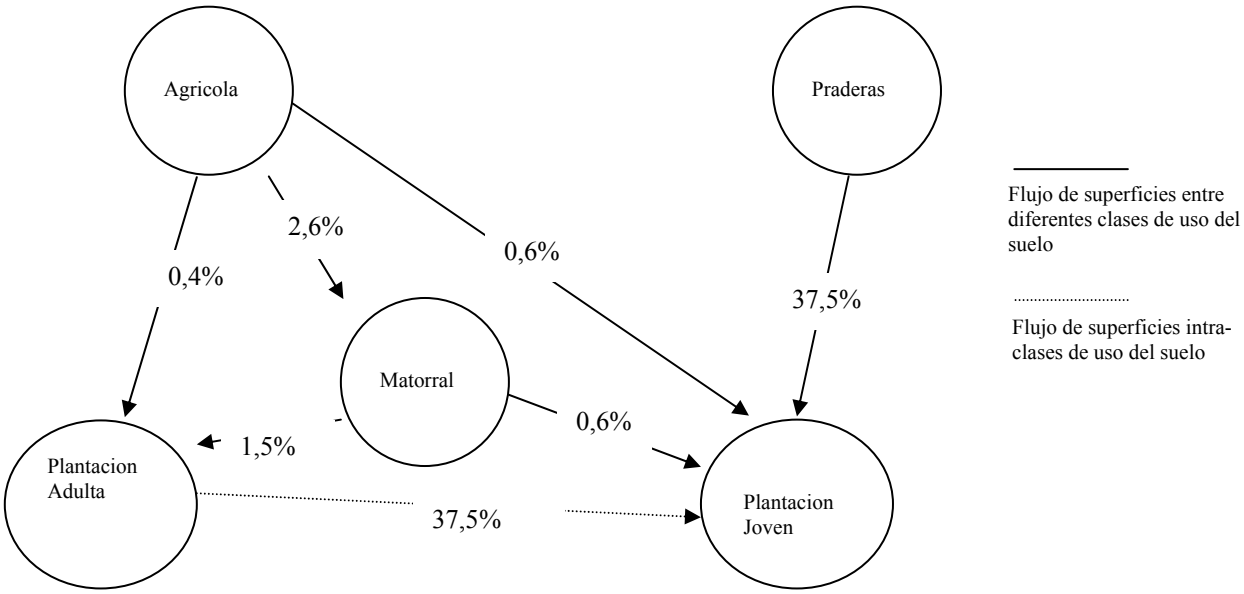


Figura 3: Modelo de cambio de uso actual del suelo en el área estudio

En la figura 3 se aprecia como los usos de la agricultura tradicional (cultivos agrícolas y praderas), como también la clase matorrales tienden a disminuir en favor de las plantaciones forestales. Se comprueba que la fuente de superficies para la forestación proviene principalmente entonces de las praderas y matorrales, y en menor medida de suelos agrícolas

2.4 Análisis estadístico del cambio

Las relaciones espaciales inferidas en los puntos 3.1 y 3.2, sobre el cambio de uso en las UHT se evaluaron en este ejercicio mediante la técnica estadística Regresión- LOGIT . Esta técnica ha sido utilizada principalmente para modelar el proceso de deforestación ocurrida en bosques tropicales (Chomitz y Gray, 1996). En el cuadro 4 se presentan los resultados, en términos de relación espacial de cada variable (correlación de Person) y su significación estadística referida a la probabilidad de cambio de uso del suelo.

Cuadro 4: Regresión logística y coeficientes de correlación de Person

Factores que influyen en el proceso de cambio	Parámetros de la regresión logística				Coeficientes de correlación de Pearson
	Variables Independientes	**Coefientes del Modelo**	**Wald Chi Cuadrado**	**Valores de Chi^2**	
Uso actual del suelo	Pradera	2.2402	576.72	945.1**	0,56**
	Agrícola	0.2515	5.49	5.51	0,36
	Matorrales	-	-	-	-
Uso potencial del suelo	clase I	1.2492	18.7	18.24	0,27
	clase II	1.6474	202.92	290.3**	0,57**
	Clase> II	-	-	-	-
Tamaño de la propiedad	0-100 ha	-	-	-	-
	100-300 ha	0.5077	14.28	16.96	0.20
	> 300 ha	1.1359	105.5	154.5**	0.60**
Distancia a caminos	0-1000m	-	-	-	0,30
	1000- 2000m	-	-	-	0,29
	>2000m	1.4864	26.89	50.94	0,38
Distancia a plantaciones	>1000m	-0.2054	6.02	4.86	0,40
	1000-2000m	-	-	-	-
	>2000m	-0.9476	-29.35	32.5	0,36
Clases de Exposición	N	2.1527	--	-	0,28
	E	2.6165	19.88	16.59	0,10
	S	2.87	24.09	14.66	0,03
	O	2.4531	12.62	6.99	0,02
Categorías de Pendiente	0-15%	-	-	-	-
	15-30 %	-0.3113	10.41	11.083	0,21
	>30%	-	-	-	-

** Significativos al 95 %

En el cuadro 4 se observa que las variables: tamaño de la propiedad, uso actual del suelo y uso potencial del suelo explican significativamente desde un punto de vista espacial, la ocurrencia de cambios en el área estudiada. Una menor significación estadística se observa para las variables exposición, distancia a caminos y plantaciones forestales establecidas.

Los valores entregados por esta técnica corroboran las tendencias de distribución espacial de las áreas de cambio observadas preliminarmente en la figura 2 y en la matriz de cambio (cuadro 3).

Con los análisis anteriores se pueden concluir la existencia de las siguientes relaciones espaciales entre el proceso de cambio y las variables geofísicas:

a) El cambio de uso del suelo en el área esta ocurriendo principalmente en propiedades mayores a 300 ha. Esto se corrobora con la alta significación estadística de esta variable en el modelo LOGIT.
b) La categoría de uso potencial del suelo II esta estrechamente correlacionada con la conversión del uso actual del suelo a plantaciones,
c) Las áreas clasificadas en el uso praderas están siendo reemplazadas por plantaciones forestales. También se observa, aunque en menor medida, una tendencia de reemplazo hacia suelos agrícolas.

3. Calculo de la matriz de probabilidad de cambio de las UHT

La probabilidad de cambio representa la susceptibilidad que tiene una determinada clase de uso del suelo en transformarse a otro estado o clase de uso diferente. Esta probabilidad se determinó para este ejercicio en función de las variables topográficas y temáticas más relevantes seleccionadas en el punto anterior. La probabilidad (π_i) se estimó a nivel UHT y propiedad privada. En ambos casos la probabilidad o susceptibilidad espacial que una UHT se transforme en plantación forestal, es función de los atributos que la componen, es decir el tamaño de propiedad, la capacidad de uso potencial y el uso actual del suelo lo que corresponde a la siguiente expresión:

$$\pi_{UHTij} = q_{ij},$$

Donde:
π_{UHTij} : Probabilidad π de cambio de uso del suelo de la unidad homogénea i de terreno;
q_{ij} : Tasa de cambio real para una superficie caracterizada por los atributos temáticos k de la UHTi.

Para una propiedad privada específica, desde el punto de vista espacial, la probabilidad de cambio es π_{UHTij}, ponderada por las distintas unidades homogénea UHTij que la conformen.

Las probabilidades de cambio a nivel de la unidad homogénea de terreno y propiedad privada se presentan en los cuadros 5 y 6 respectivamente.

Cuadro 5 Probabilidad de cambio p (π_{iUHT}) % de las UHT a superficies con plantaciones forestales

Tamaño de propiedad (ha)	Probabilidad de cambio π_{UHTij} % Uso actual			
	Uso potencial del suelo	Praderas	Matorral	Agrícola
100	1,0	28,2	1,7	0,2
	2,0	42,4	0,4	0,3
	>2	0,0	0,0	0,0
100-200	1,0	26,2	5,3	0,9
	2,0	40,9	5,3	0,8
	>2	0,0	0,0	0,0
>300	1,0	35,9	8,3	2,4
	2,0	45,2	5,0	20,5
	>2	5,2	6,1	45,3

Los valores de π_{UHTij} calculados, indican que las unidades homogéneas cuyos atributos k y que corresponden a: uso actual, praderas y capacidad de uso potencial del suelo 2, en las tres categorías de tamaño de propiedad, presentan las mayores probabilidades o susceptibilidad de transformarse en plantaciones forestales. Similar condición se aprecia en las UHT caracterizadas por uso actual del suelo "agrícolas", ubicadas sobre categorías de uso potencial 2 y en predios con superficies mayores a 300 ha.

Cuadro 6: Probabilidad de cambio a nivel de propiedad privada

ID	Superficie de la parcela o propiedad ha	Superficie forestable al año 1998 ha *	Agrícola			Praderas			Matorrales			Probabilidad % de cambio asociada a cada propiedad
			Capacidad de uso potencial del suelo									
			1	2	>2	1	2	>2	1	2	>2	
1	12,2	12,2	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,4
2	12,3	2,8	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
655	745,0	665,1	428,9	164,3	0,0	2,2	56,0	0,0	2,3	11,4	0,0	10,7
Total	61354,0	44471,4	27618,8	6083,9	234,7	1354,9	1271,6	197,5	3310,1	4268,2	131,5	100

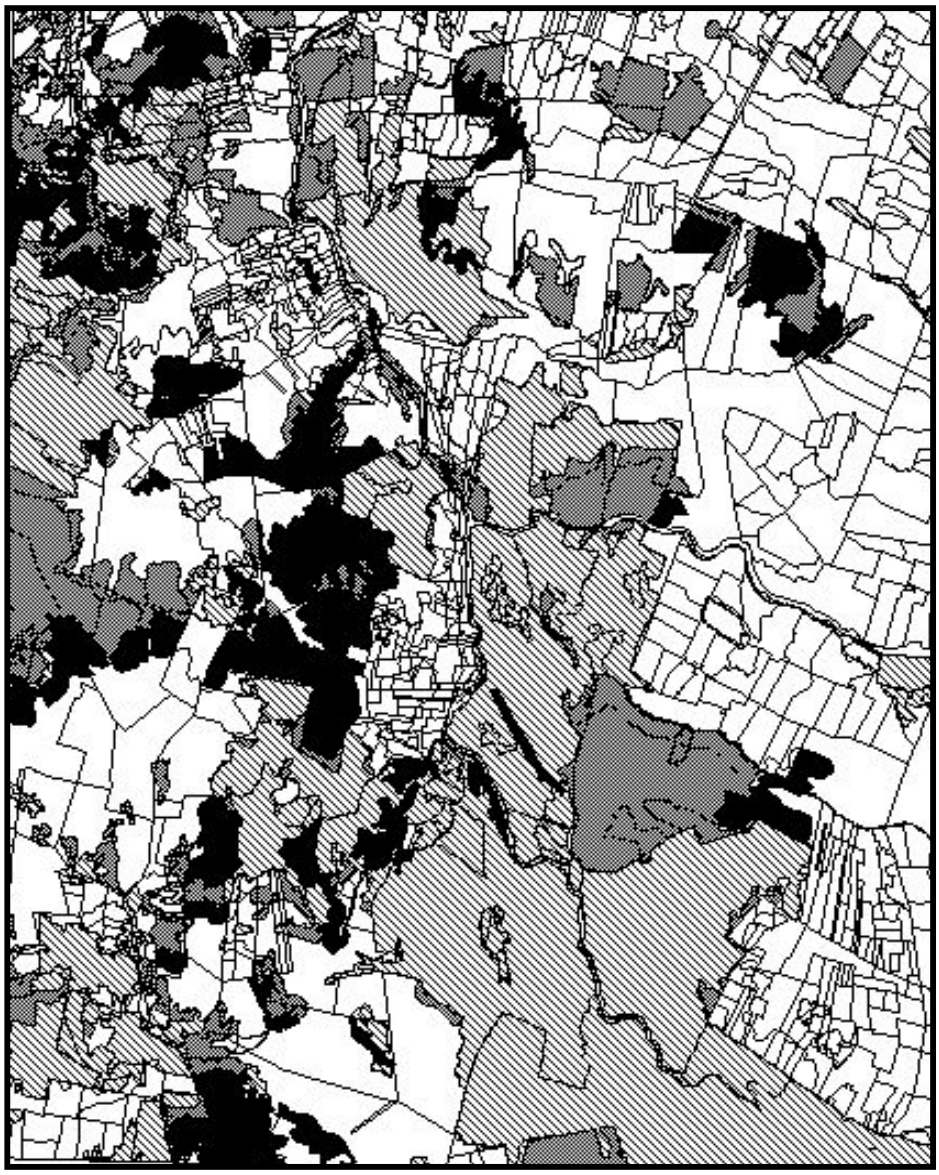
(*) Superficie disponible para forestar al ano 1998 en cada parcela. Incluye uso actual del suelo agrícola, matorrales

3.1 Representación cartográfica de la proyección del cambio para el periodo 1998-2002

Con el objeto de facilitar la representación cartográfica de los valores de probabilidad calculados para cada propiedad y UHT (cuadros 5 y 6), se agrupó esta información en cuatro categorías: alta probabilidad, media, baja y sin probabilidad de cambio, para el período 1998-2002.

La flexibilidad en el despliegue de la información gráfica dispuesta de esta forma en un modelo vectorial de datos permite modificar la asignación de estas categorías, dependiendo de los objetivos y restricciones especificas de cada estudio y de la experiencia y conocimiento empírico del área.

En la figura 5 se representa cartográficamente la localización de áreas susceptibles de cambio a usos de plantaciones forestales, según el modelo espacial propuesto.



LEYENDA	RANGO DE PROBABILIDAD Π%
ALTA	>15 %
MEDIA	>5 % und <15%
BAJA	>0 % und <5 %
PLANTACIONES	=0%

Figura 5: Distribución espacial de áreas homogéneas y limites de propiedad con diferentes probabilidad de cambio a plantaciones para el periodo 1999-2002

4. Conclusiones

El uso de modelos de proyección cartográfica del cambio en el uso del suelo son herramientas relativamente fiables, dada por la potencia y exactitud espacial que le otorga el uso de bases de datos geográficos integrados a un Sistemas de Información Geográfico (SIG). El ejemplo presentado en este trabajo, sobre la transformación del paisaje en un área de la VIII región-Chile, presenta como una alternativa posible el uso de estos modelos, considerando que el usuario debe trabajar modelos adecuados a la realidad del área de estudio y al nivel de datos que cuente, es decir, debe considerar el uso de los modelos de predicción espacial como una herramienta de análisis y no como una solución para los problemas.

Sus principales limitaciones son:

- La imposibilidad actual de georeferenciar información económica como precios, oferta, demanda o rentabilidad del suelo.
- La calidad y el nivel de información socio-económica no ha tenido un desarrollo paralelo a la información geográfica para ser integrada en el análisis y modelamiento espacial de cambios de uso del suelo.

A la fecha los modelos de predicción espacial de cambios de uso de suelo han sido utilizados principalmente para estudiar el proceso de deforestación en países tropicales (Gastellu-Etchegorry y Simnulingga, 1988; Sader y Joyce, 1988; Ludeke, et al, 1990; Liu, et a1, 1993; Chomitz y Gray, 1996; Ringrose, 1996; Zerda, 1998).

De estos se puede concluir que los principales efectos que producen las variables explicatorias en este tipo de modelos, son:

- La deforestación y aclareo de los bosques declina rápidamente en la medida que disminuye la distancia a los caminos y vías rurales (Liu, et al, 1993; Mamingi, et al, 1996).
- El proceso de deforestación es más drástico cuando interactúan las variables: distancia a los caminos, áreas con suelos fértiles para la agricultura y condiciones climáticas apropiadas (Chomitz, et al,1996; Mertens y Lambin, 1997).
- La deforestación declina significativamente al incrementar la distancia a los centros de consumo y mercados. Además tiene un efecto más significativo que la variable distancia a los caminos rurales (Chomitz et al, 1996; Mertens y Lambin, 1997; Nelson y Hellerstein, 1997).
- Por otra parte la construcción de caminos disminuye el impacto en los niveles de pobreza (en bosques del sur de México). Pobreza y degradación de los bosques son altamente correlacionados.(Deininger y Minten, 1997)
- Bosques fragmentados tienen un mayor riesgo de ser deforestados que grandes y compactas extensiones de bosques (Mamingi et al, 1996).

5. Bibliografía

BAKER, W. L. 1989. A review of models of landscape change. Landscape Ecology Vol. 2 no.2 pp. 111-133 pp.

CHOMITZ, K; GRAY, D. 1996. Roads, Lands marketz and deforestation, a spatial model of land use en Belize . World Bank Economic Review 10. 487-512 pp.

DEININGER, K; MINTEN, B. 1997. Determinants of forest cover and the economics of protection. an application to Mexico. World Bank Washington .D.C.

ELSTON ,D. A. ; BUCLAND, S. T. 1993. Statistical modelling of regional GIS data. and overview. Ecological Modelling 67 (1993) 81- 102 pp.

GASTELLU- ETCHEGORRY, J.P; SINULINGGA, A.B. 1988. Designing a GIS for The Study of Forest Evolution in Central Java. Tijdschrift voor Econ. en Soc. Gegrafic 79 (1988) Nr 2 . S 93-102 pp.

KAIMOWITZ, D; ANGELSEN, A. 1998. Economic Models of Tropical deforestation. A Review, Center for International Forestry Research, Malaysia 305 pp.

LAMBIN, E . ,STRAHLER, A. 1994. Indicators of land-cover change for change-vector space at coarse spatial scales, International Journal Remote Sensing 1994, vol 15, n 10, 2099-2119 pp.

LAMBIN , E. 1994. Modelling Deforestation Processs , A Review. European Commission , Institute for Remote Sensing Apliccations , European Space Agency. S .113 pp.

LAMBIN, E. 1997. Modelling and Monitoring land-cover change processes in tropical regions , Progress in Physical Geography 21,3 (1997) . 375-393 pp.

LIU, D; IVERSON, L; BROWN, S. 1993. Rates and patterns of deforestation in the Plilippines apliccation of geographic information system analysis , Forest Ecology and Management Vol 57 (1993) ,1-16 pp.

LUDEKE, A.; MAGGIO R. C., REID L. M. 1990. An analysis of anthropogenic Deforestation Using Logistic Regression and GIS, Journal Of Environmetal Management vol. 31. 247-259 pp.

MAMINGI, N; CHOMITZ, K.M.; GRAY, D.A AND LAMBIN, E.F. 1996 Spatial patterns of deforestation in Cameroon and Zeire. Working Paper 8 Research Project on Social and Environmental Consequences of Growht-oriented Policies. Policy Research Department World Bank, Washington.35 pp.

MERTENS, B; LAMBIN, E. 1997. Spatial Modelling of deforestation in southern Cameroon. Applied Geography Vol 17.Nr 2 , pp 143-162 pp.

NELSON, G. AND HELLERSTEIN, D. 1997. Do Roads Cause deforestation Using Satellite images in econometric analysis of land use . American Journal of Agricultural Economics79 . 80-88 pp.

PARKS, L.; PETERS, R. 1990. Models of Forested and agricultural Landscape . Integrating Economics .; Quantitative Methodes in Landscape Ecology, Springer - Verlag. Capitel 12 309-322 pp.

RINGROSE, S. 1996. The use of integrated remotely sensed and GIS data to determine cause of vegetation cover change in southern Botswana. Applied Geography, Vol 16 . 225-242 pp.

SADER, S; JOYCE, A. 1988. Deforestation rates and trends in Costa Rica , 1940 -1983. Biotrópica 20.11-19 pp.

SHUGAR, H; SEAGLE, S. 1985. Modeling Forest Landscape and role of disturbance in ecosystems and comunities. In . The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics pp. 353-358 pp. New York.

TURNER, M; GARDNER, R. 1990. Quantitative Methodes in Landscape Ecology, Springer - Verlag. S 536 p.

ZERDA,H. 1998. Monitoring der Vegetations und Landnutzungsveränderungen durch Brandung und Übernutzung im Trocken- Chaco Argentiniens mit Satellitenfernerkundung un GIS , Göttingen, Cuvillier Verlag 175 pp