



## Presiones de borde en los Sistemas Naturales Protegidos: efectos sobre su conservación. Parque Nacional Laguna del Laja, Chile

PRESSURE OF EDGE IN THE PROTECTED NATURAL SYSTEMS: EFFECTS ON THEIR  
CONSERVATION. LAGUNA DEL LAJA, CHILE NATIONAL PARK.

**Edilia Jaque-Castillo**

Departamento de Geografía, Universidad de Concepción, Chile.  
Email: edjaque@udec.cl

**Viviana Hulliñir**

Departamento de Geografía, Universidad de Concepción, Chile.  
Email: vivi.shc@gmail.com

**Alfonso Fernández**

Departamento de Geografía, Universidad de Concepción, Chile  
Email: alfernandez@udec.cl

### Resumen

Se describen los cambios de cobertura del suelo en el entorno del área protegida Parque Nacional Laguna del Laja (37°22'LS - 37°28'LS, 71°16'LO - 71°26'LO) en la Región del Biobío y los efectos en su conservación. A través del análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat ETM+, TM, Y MSS años 1975, 1986, 2000, 2006 respectivamente, e imágenes satelitales Aster del año 2007. Dichas imágenes fueron corregidas utilizando el software ENVI 4.2© apoyado con la información del catastro de Bosque Nativo (Conama Conaf, 1997) y levantamiento en terreno. Todos estos antecedentes permitieron generar cartografías multitemporales de uso del suelo, las que fueron analizadas utilizando el Modelo Landcover Change (Idrisi Andes©) que permitió evaluar las ganancias y pérdidas para cada cobertura de suelo, en los diferentes años. Las coberturas de suelo que mostraron mayores pérdidas fueron las coberturas vegetacionales nativas y plantaciones de tipo forestal. Se discuten las posibles consecuencias sobre la conservación de la biodiversidad en los sistemas naturales protegidos de nuestro país y se concluye que la dinámica de usos del territorio dentro del área de estudio estaría generando una pérdida de la capacidad de conservación de los ecosistemas que el SNASPE intenta resguardar.

*Palabras clave:* Cambios de uso del suelo, SNASPE, Conservación.

## Abstract

In the Bio Bio Region and effects - changes in land cover in the vicinity of the protected area Laguna del Laja (37°22'LS - 37°28'LS, 71°16'LO - 71°26'LO) National Park are described in conservation. Through the analysis of multitemporal Landsat ETM + satellite imagery, TM, and MSS 1975 1986, 2000, 2006 respectively, and Aster satellite images of 2007. These images were corrected using the ENVI 4.2© software supported with information from the register of native forest (Conaf CONAMA, 1997) and field survey. All this background allowed generate multitemporal land use maps which were analyzed using Model Landcover Change (Idrisi© Andes) that allowed us to evaluate the gains and losses for each land cover in different years. Coverages showed higher soil losses were native vegetation cover and forest type plantations. This allow us to discuss the potential consequences for the conservation of biodiversity in protected natural systems of our country and it is concluded that the dynamics of my land uses within the study area would generate a loss of capacity for the conservation of ecosystems SNASPE try to protect. *Keywords: Change in land uses, SNASPE, Conservation.*

## Introducción

Los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del suelo y a la degradación e intensificación del uso del suelo (Lambin, 1997; citado en Pineda et al., 2009). Es por ello que las áreas silvestres protegidas concentran actualmente los mayores esfuerzos de protección de la biodiversidad a nivel mundial. Por lo tanto, saber si la estructura y funcionamiento de los sistemas que albergan se mantiene a lo largo del tiempo y poder cuantificar los eventuales cambios contribuiría al establecimiento de prioridades para su conservación (Barber et al., 2004; citado en Alcaraz-Segura et al., 2009).

Una de las aportaciones más destacadas de la teledetección espacial al estudio del ambiente es su capacidad para seguir procesos dinámicos. En el contexto del estudio de los procesos de transformación territorial, las técnicas de monitorización basadas en datos multiespectrales han demostrado un gran potencial para detectar, identificar y cartografiar cambios en los usos del suelo (Rodríguez-Galiano et al., 2009).

En Chile, el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) es considerado uno de los ejes prioritarios en la conservación del patrimonio biológico chileno. Este sistema se compone de 32 Parques Nacionales, 47 Reservas Nacionales y 13 Monumentos Naturales, representando el 19% de la superficie nacional. Sin embargo su capacidad de asegurar la mantención de los ecosistemas que intenta proteger ha sido continuamente amenazada por la dinámica de los usos del territorio circundante.

El Parque Nacional Laguna del Laja, creado por D.S. N° 652 de 25 de Junio de 1958, es un claro ejemplo de esto. Ubicado en la comuna de Antuco, Región del Biobío, entre los 37°22'LS - 37°28'LS y 71°16'LO - 71°26'LO (Figura 1), se emplaza en las laderas del Sistema volcánico Antuco - Sierra Velluda y ocupa parte del valle del río Laja. Así, la presencia del grupo volcánico Antuco, la Laguna del Laja y el río Laja son elementos condicionantes de la dinámica interna dentro del parque. Por lo tanto, cualquier variación de cobertura y uso de suelo en este entorno, se traduce en una presión sobre la biodiversidad existente en el parque.

La biodiversidad es la base de los servicios ecosistémicos y con ello del bienestar social. Sin embargo, el aumento de las actividades humanas ha generado una serie de efectos sobre el medio ambiente, los cuales se han transformado en la principal amenaza para la conservación de la biodiversidad. Algunas de las presiones existentes sobre la biodiversidad son: introducción de especies exóticas, sobreexplotación de recursos naturales, pérdida o modificación del hábitat, entre otros.

El cambio de uso del suelo, como consecuencia de la conversión de tierras forestales, la extensión de tierras agrícolas y el uso ganadero y urbano, constituye una de las presiones a la biodiversidad. Precisamente, de acuerdo con información publicada por CONAF el año 2011, las variaciones existentes en el bosque nativo en la zona central del país se deben a la habilitación de suelos para usos agrícolas, así como también a las quemas e incendios forestales. En la zona centro sur de Chile, esta variación se explica por la cosecha y habilitación para plantación forestal.

El objetivo central de este estudio es estimar los cambios de uso del suelo en el Parque Laguna del Laja y su entorno, en los últimos treinta y cinco años (1975 - 2007), evaluando los efectos de dichos cambios en la conservación de esta área silvestre protegida. Para ello se realizó un análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat ETM+, TM, Y MSS de los años 1975, 1986 y 2000 respectivamente, e imágenes satelitales Aster del año 2007.

Todos estos antecedentes permitieron generar cartografías multitemporales de uso del suelo, las que fueron analizadas utilizando el Modelo Landcover change (Idrisi Andes©) que permitió evaluar las ganancias y pérdidas para las diferentes coberturas de suelo dentro de la unidad. A partir de los resultados obtenidos, se discute la efectividad del SNASPE para la conservación del paisaje y de la flora nativa en relación con los cambios detectados en los últimos años.

## Metodología

### Área de estudio

El área de estudio corresponde al Parque Nacional Laguna del Laja, más un bufer de 4 km en su entorno, situado este en la comuna de Antuco, Región del Biobío (Figura 1), el área de estudio cubre una superficie de 31.644 ha, de la cual 11.889,5 ha pertenecen al área que cubre el parque. El Parque Nacional Laguna del Laja corresponde en su mayor parte al macizo de la Sierra Velluda (37°27'LS y 71°24'LO), localizado en la cabecera de la cuenca del río Laja.

Con una altitud máxima de 3.585m, es una de las mayores cumbres del sector. Este macizo tiene su origen en el volcanismo previo a la glaciación wisconsiniana, hace alrededor de 495 x 103 años (Vergara et al., 1985), por lo que presenta claras evidencias de glaciario del último máximo glacial y del Holoceno (Mardones y Jaque, 1992; Fernandez et al., 2011). Estas condiciones geomorfológicas hidrológicas indican que este parque cumple con el doble objetivo de proteger ecosistemas únicos

y además sostener condiciones óptimas para una mantención de la cuenca del río Laja. Las diversas y fuertes presiones en esta cuenca son sin duda las principales responsables del estado de estrés hídrico de esta cuenca.

### Imágenes satelitales

Para el análisis de cambio de uso de suelo y patrones espaciales en el tiempo se utilizaron cuatro Imágenes Satelitales, de las cuales tres pertenecen al sistema de satélites Landsat: una primera imagen del satélite Landsat 7,

año 2002; una segunda imagen del satélite Landsat 5, año 1986; una tercera imagen del satélite Landsat 2, año 1975. La cuarta imagen proviene del sensor ASTER perteneciente al sistema de satélites TERRA. También se requirió de una imagen DEM (Modelo Digital de Elevación) SRTM (The Shuttle Radar Topography Mission), año 2004, y con resolución DE 90 x 90 m (Tabla 1). Además se utilizó como información base del uso de suelo y cobertura del área estudiada, cartografías digitales elaboradas por Conama-Conaf el año 1997, y fotografías aéreas IGM, año 1960.

**Tabla 1**  
Características de las imágenes utilizadas.

Sensor/Origen	Fecha	Resolución	Path/Row	Fuente
ASTER	07/11/2007	15	120/42	USGS
ASTER	07/11/2007	15	121/81	USGS
C-band and X-band	26/06/2004	90	233/86	GLCF
ETM+	27/01/2000	30	233/86	GLCF
TM	30/12/1986	30	233/86	GLCF
MSS	08/04/1975	60	249/86	GLCF

Fuente: Elaboración propia, 2010.

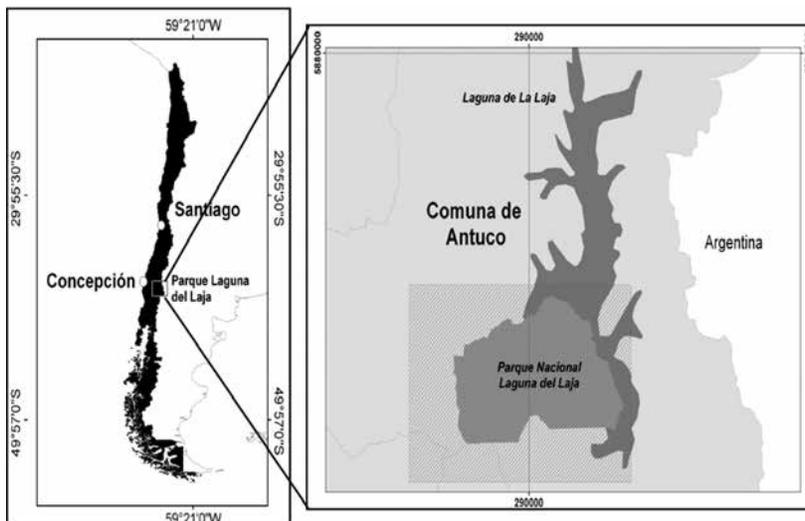


Figura 1. Área de estudio

### Clasificación de imágenes

La metodología utilizada (Figura 2) se inicia con el procesamiento de imágenes satelitales, que consistió en la corrección radiométrica, geométrica y topográfica de las imágenes (ENVI©). Para la primera corrección se calibró cada banda de las imágenes Landsat, considerando su metadata. Junto a lo anterior, se transformaron los valores de los números digitales (DN) a reflectancia, considerando criterios propuestos por Rodríguez-Galiano et al. (2009). En el caso de la imagen ASTER, fue aplicado el modelo de corrección atmosférica

FLAASH (Fast-Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) disponible en el programa ENVI versión 4.5, y que para su operación requiere la hora y la fecha de adquisición de la imagen, la altitud del satélite, la altitud promedio del relieve retratado en la imagen y la coordenada central de la escena, además de un conjunto de parámetros asociados al modelamiento de la atmósfera del área de interés (Peña & Aaltmann, 2009).

Para la segunda corrección, fue necesario ajustar los valores de coordenadas al sistema de referencia del mapa. En este caso, los parámetros

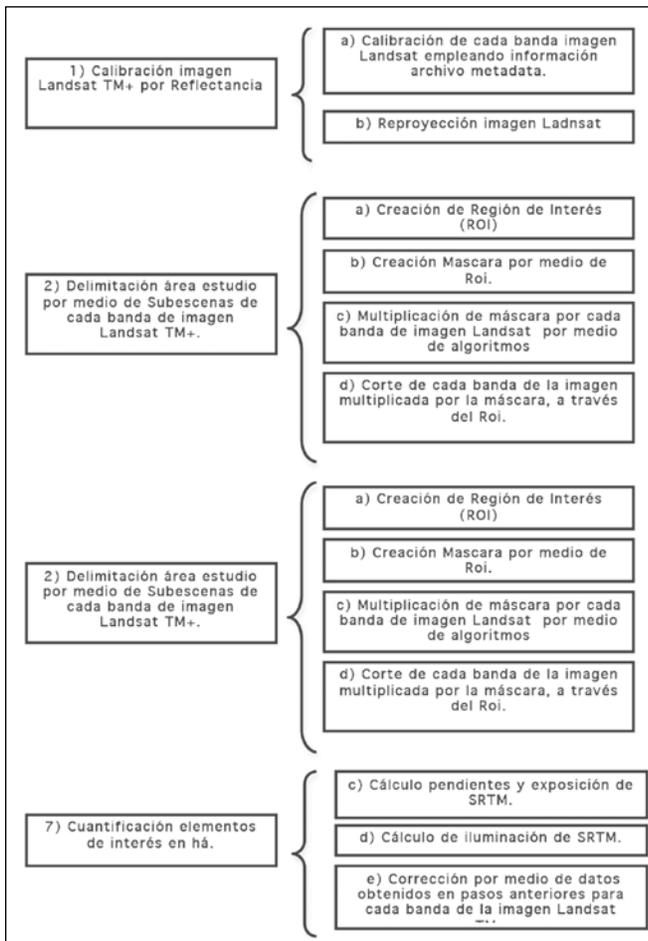


Figura 2. Esquema Metodológico

tros de proyección geográfica asignados a las imágenes fueron: coordenadas UTM, datum WGS84, huso 19 Sur. Además, se transfirieron los ND a las coordenadas cartográficas establecidas, eligiendo como método el vecino más cercano, que supone menor transformación de los ND originales (Chuvieco, 2002). Al tratarse de un análisis multitemporal, fue necesario homogenizar el tamaño de píxel con el fin de originar una nueva imagen con tamaño de píxel 28,5. Esto se realizó para las imágenes MSS y ASTER, y el DEM SRTM. Para la tercera corrección, se aplicó el método topográfico semiempírico conocido como corrección-c (Teillet et al., 1982; citado en Riaños et al., 2000) sobre la imagen DEM, la que una vez rectificada su iluminación, permitió la corrección de cada banda de la imagen reemplazada dentro del algoritmo propuesto por el autor.

Para la selección de áreas de entrenamiento y clasificación de la imagen, se utilizó el método de clasificación supervisada (Segura & Trinca-

do, 2003). Además se analizaron las respuestas espectrales de cada clase por banda, cuyas estadísticas y gráficos permitieron la elección de las bandas adecuadas para una mejor discriminación (Figura 3). Para la fase de asignación, se aplicó la función probabilística de máxima verosimilitud. Este clasificador asume que los datos siguen una función de distribución normal (Gaussiana) para asignar la probabilidad de que un píxel cualquiera pertenezca a cada una de las clases (Jensen, 2005; citado en Ortiz y Pérez, 2009). Las imágenes resultantes fueron traspasadas a formato vectorial, para poder generar cartografía y cuantificar su superficie usando ArcGis9.3©.

### Tipos de cobertura

Se clasificaron 7 clases de coberturas de suelo distintas, con el objeto de especificar en el mayor detalle posible las causas o procesos que han llevado a su cambio en el área de estudio. Las clases son:

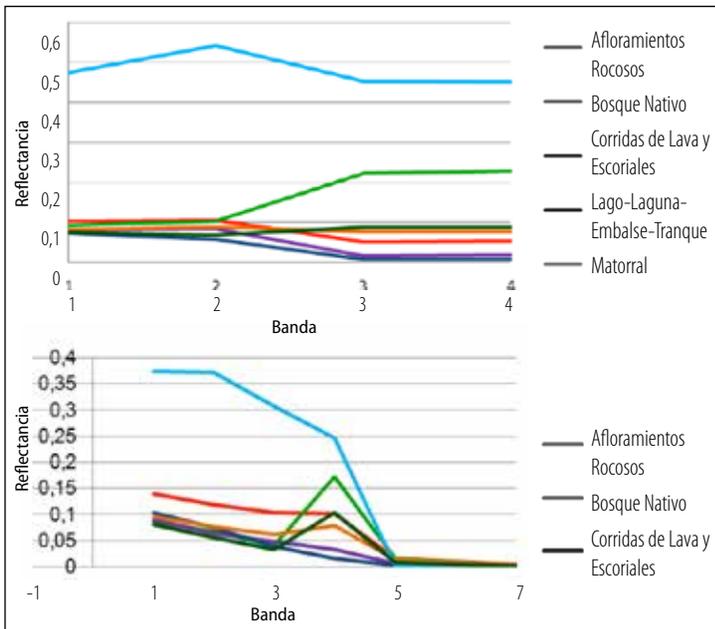


Figura 3. Reflectancia espectral de cada cobertura por cada banda

- Corridas de Lavas y Escoriales: áreas desprovista de vegetación asociadas a materiales de origen volcánico.
- Nieve: cobertura de hielo y nieve asociada al glaciar Sierra Velluda
- Laguna: cuerpos de agua presente en la zona.
- Bosque nativo: bosque primario heterogéneo en cuanto a tamaño y longitud de copas (CONAF et. al 1995).
- Afloramientos Rocosos: suelos que se encuentran sin cobertura arbórea o arbustiva de forma permanente. Generalmente corresponden a zonas sobre el piso de vegetación sin cobertura de nieve.
- Plantaciones forestales: bosque cuyo estrato arbóreo está dominado por especies exóticas o nativas plantadas (CONAF et al., 1995).
- Matorral: formación vegetal donde el tipo biológico árbol es menor al 10%, el de arbustos puede ser entre 10 a más del 75% y las herbáceas pueden estar entre 0-100% (CONAF et al., 1995).

### Análisis temporal de cambio de coberturas

El análisis de cambios se realizó a través del módulo Land Change Modeler for Ecological Sustainability (IDRISI Andes©) (Eastman, 2006). Se utilizaron las imágenes clasificadas de los años 1975 y 2007 en formato raster, correspondientes al área del Parque Nacional, con las que se obtuvo un análisis estadístico descriptivo espacio-temporal de las ganancias y pérdidas de los cambios de usos y coberturas de suelo. Esto se tradujo en cartografías raster que se incorporaron al Software ArcGis. El análisis de las tasas de cambio se desarrolló según la ecuación presentada en la Figura 4.

## Resultados

### Cambios en las coberturas de suelo

Clases de cobertura analizadas derivados de los mapas de tipos de cobertura (Figura 5) señalan que para el año 1975, la categoría de cobertura predominante era la de nieves con

un 31% (9.784,6 ha) y las corridas de lavas y escoriales 25% (7.783,1 ha) del total del área estudiada. La cobertura de bosque nativo concentra el 12% (3.802,5 ha) y las plantaciones forestales un 2% (779,7 ha), mientras que el

$$\delta_n = \frac{S_2}{S_1} \cdot \frac{1}{n} - 1 \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde  $\delta$  es la tasa de cambio (para expresar en % hay que multiplicar por 100).  
 $S_1$  superficie en la fecha 1.  
 $S_2$  superficie en la fecha 2.  
 $n$  es el número de años entre las dos fechas.

Figura 4. Ecuación para análisis de tasas de cambio

matorral, con 2.175,4 ha representa sólo el 7%. Para el año 1986 (Tabla 2), el porcentaje de nieve desciende a 14% (4.472,2 ha), al igual que el porcentaje de bosque nativo a un 6% (1.905,5 ha), mientras que las corridas de lava del 26% (8.184,7 ha) y la cobertura de afloramiento rocosos con el 29% (9.188 ha) representan los mayores porcentajes. En 2002 continua la predominancia de los parches de afloramientos rocosos (10.617,6 ha, con 34%), mientras que

la nieve desciende abruptamente (1.901,3 ha con 6%). El bosque nativo sólo aumenta a un 9% (2.685,7 ha). En el año 2007, la cobertura de nieve aumenta a un 29% (9.217,1 ha), y los afloramientos rocosos descienden a un 24% (7.732,5 ha), mientras que las corridas de lava y escoriales no presentan cambios importantes con respecto al año 2002 (8.779,3 ha con 27%). El matorral sólo representa el 7% (2.133,3 ha) y las plantaciones forestales el 1% (458 ha).

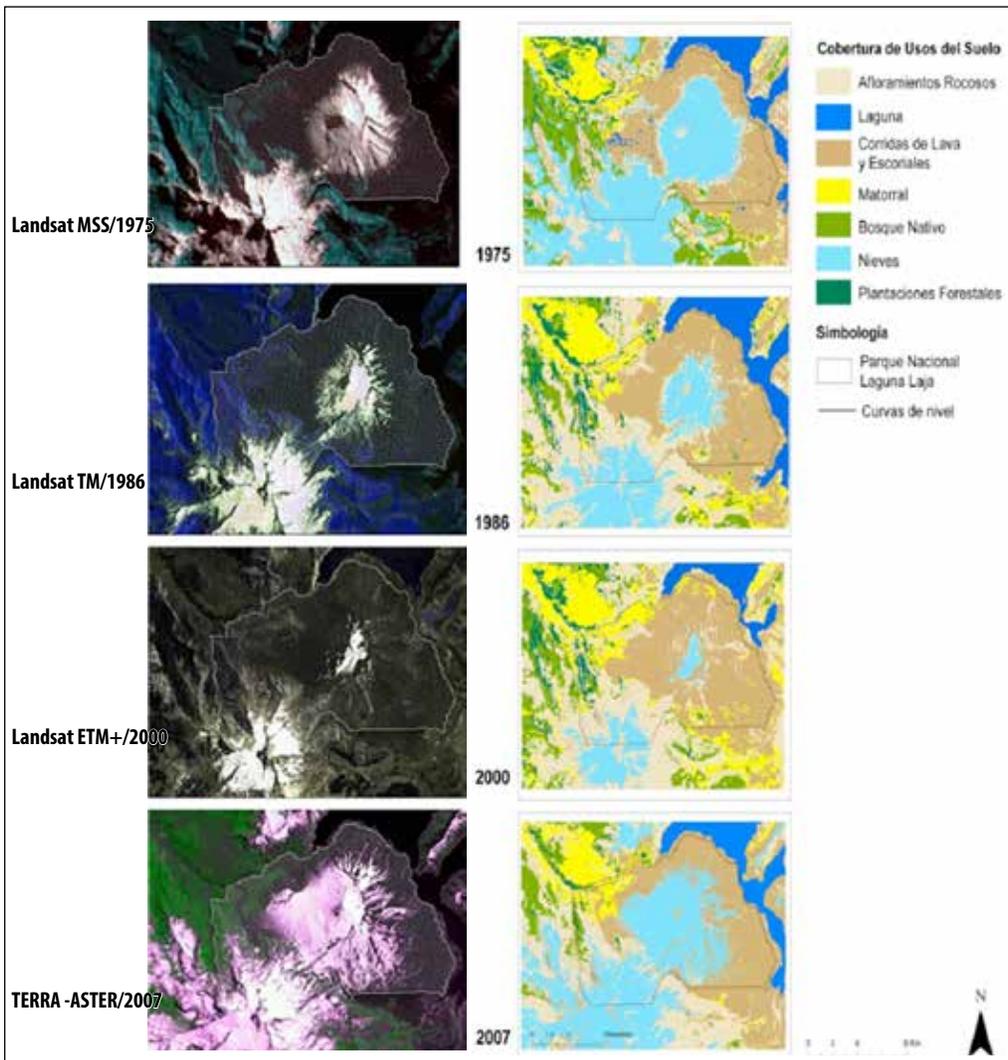


Figura 5. Cambios de cobertura de uso de suelo en el Área del Parque Nacional Laja.

**Tabla 2**  
**Variaciones de las coberturas de suelo en las distintas imágenes utilizadas.**

Tasa de Variación (%)	1975-1986	1986-2000	2000-2007
Afloramientos Rocosos	5,088639966	1,038342746	-4,428656591
Bosque Nativo	-6,08776352	2,481786963	-8,346275046
Corridas de Lava y Escoriales	0,458436543	0,597670944	-0,189718993
Lago-Laguna-Embalse-Tranque	2,298442059	-4,796302916	7,695926297
Matorral	5,140958946	1,701494372	-10,89128268
Nieves	-6,870061608	-5,926718616	25,29534377
Plantaciones forestales	6,474714248	-1,655431009	-13,16803118

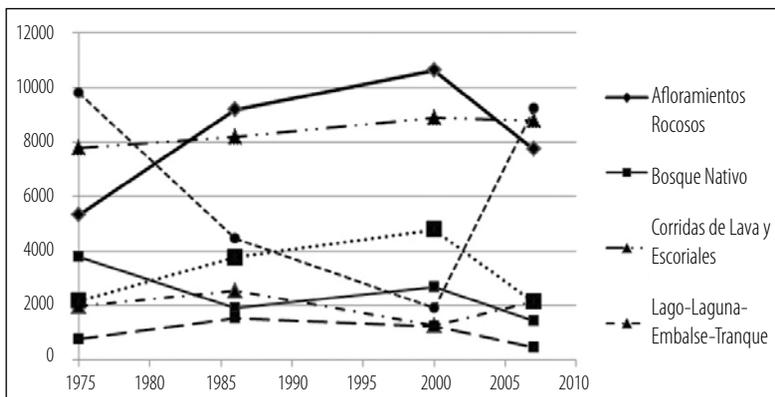
El análisis dinámico de las modificaciones de coberturas (Figura 6) da cuenta de un ecosistema no estable, afectado por perturbaciones climáticas que se expresan en el comportamiento de la cobertura de nieves, glaciares y afloramientos rocosos; perturbaciones antrópicas que quedan de manifiesto en la dinámica de las coberturas de plantaciones y bosque nativo.

### Análisis de cambios de coberturas y uso del suelo en el Parque Nacional Laguna del Laja

Los mayores porcentajes de cambios dentro del Parque entre los años 1975-2007, en términos de pérdidas y ganancias, corresponden a

las coberturas de plantaciones forestales (-92; 96), esto indica que la presión forestal alcanza límites ecológicos y éticos que se pueden traducir en la contaminación de las áreas naturales, de hecho la presencia de plantaciones reconocidas al interior del parque mostraría una invasión de especies no nativas en una zona protegida (Figura 9), donde la existencia de pérdidas implicaría una acción de tala de esas coberturas y la existencia de ganancias implicaría una acción concreta de plantación o replantación en los bordes.

En cuanto a la cobertura de bosque nativo (-95,33; 88,66) (Figura 8) muestra importantes fragmentos de pérdidas de cobertura de mayor relevancia que las áreas que presentan



*Figura 6.* Dinámica de las coberturas de suelo en el Área del Parque Nacional Laja.

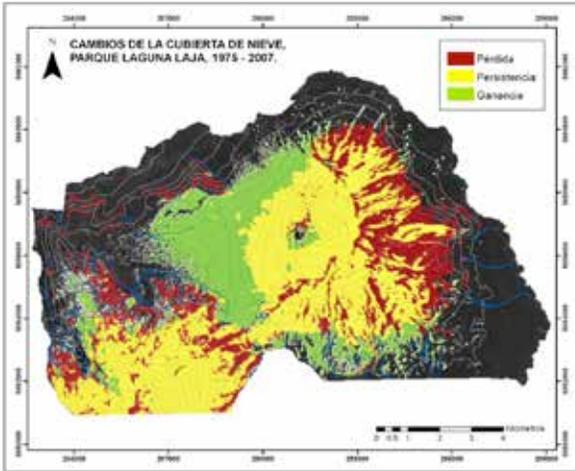


Figura 7. Pérdidas, persistencias y ganancias en las coberturas de nieve.

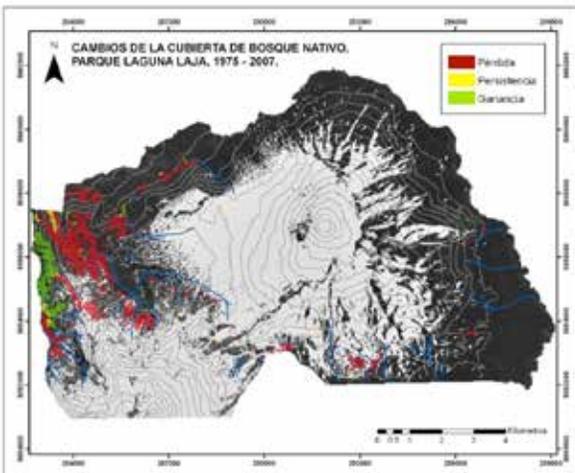


Figura 8. Pérdidas, persistencias y ganancias en las coberturas de Bosque Nativo.

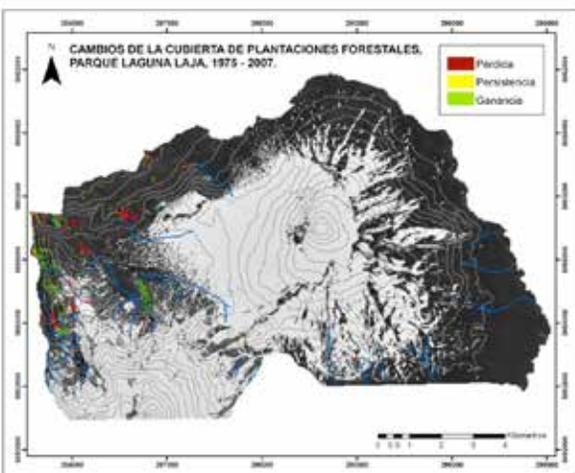


Figura 9. Pérdidas, persistencias y ganancias en las coberturas de Plantaciones Forestales.

ganancias con tendencias a la disminución en el período estudiado. Los afloramientos rocosos (-76,96; 77,48), y las corridas de lava y escoriales (-32,04; 38,52) presentaron las cifras más bajas de cambios (Figura 10). Principal

atención ocupa la cobertura de nieve (-33,52; 31,74) (Figura 7) cuyas pérdidas distribuidas espacialmente coincide con el valle del estero Los Pangues, el dren principal que alimenta al Río Laja dentro del Parque.

## Discusión

Los resultados de este trabajo sugieren que los principales efectos del cambio de uso del suelo en el entorno del Parque Nacional Laguna del Laja para la conservación de sus sistemas naturales en un período de 32 años, están asociados al progresivo aumento de las coberturas de afloramiento rocoso y variaciones en la cubierta de nieve, matorral y bosque nativo circundante. Dichos cambios de cobertura vinculados con la humedad ambiental del área, tienen incidencia en las pérdidas de masa vegetal del bosque nativo y de los recursos hídricos que el Parque Nacional en su calidad de SANSPE debe proteger. Es posible que la obtención de tasas de variación de temperatura y humedad pudiese reforzar aún más esta relación dentro de esta investigación. No obs-

tante, con los resultados obtenidos se constata la conversión de coberturas dentro del Parque Nacional y su entorno, los que precisan de mayor cuidado sobre todo por la importancia de los recursos existentes en él.

La dinámica del borde en los límites del Parque, permite visualizar presiones continuas que en las fronteras de estas Áreas Protegidas ponen en peligro la conservación de la misma, cuestionamos entonces la efectividad de la gestión de los Parques Nacionales cuando los límites están siendo sometidos a cambios continuos que podrían implicar alteración del rol de conservación que tienen estos sistemas.

La utilización de técnicas de teledetección espacial y su exploración como herramienta

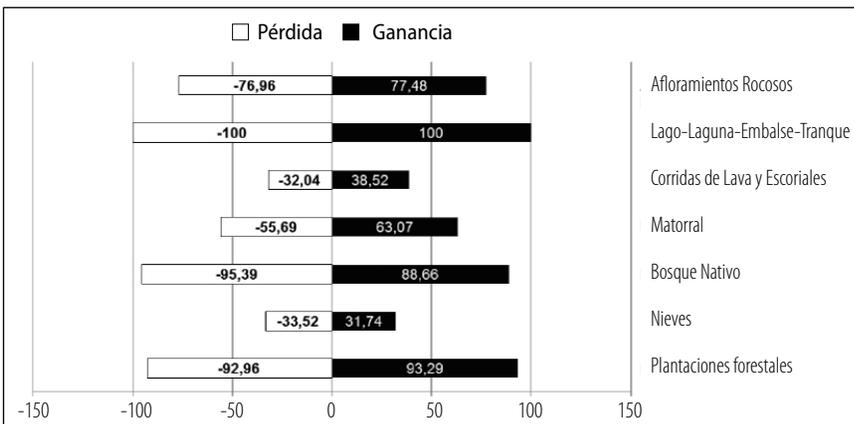


Figura 10. Gráfico de pérdidas y ganancias en el Parque Nacional Laguna del Laja.

de estudio para analizar los eventos descritos, permiten un alto grado de certeza aún en lugares cuya topografía dificultan su acceso

y otorgan información tanto espacial como estadística del comportamiento de diferentes clases de cobertura en distintos años.

## Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco del Proyecto DIUC N° 208.603.007?1 Fluctuaciones volumétricas de los glaciares de la Sierra Vellu-

da (37° 27'S y 71° 24'W) en las últimas décadas y sus consecuencias en el paisaje natural del Parque Nacional Laguna del Laja.

## Bibliografía

- Alcaraz, D., Paruelo, M., Ovonarte, C., Piquer, M. & Cabello, J. (2004). Tipos funcionales de ecosistemas de la Península Ibérica. Implicaciones para el cambio global y la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*. 13(2): 1-9.
- Chuvienco, E. (2000). Fundamentos de teledetección espacial. Madrid (España), Rialp, 568 pp.
- Dupuy, J., González, J., Iriarte, S., Calvo, L., Espadas, C., Tun, Fernando & Dorantes, A. (2006). Cambios de coberturas y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 0(62): 104-124
- Fernández, A., Santana, A., Jaque, E., Martínez, C., & Sáez, R. (2011). Glacier changes on Sierra Velluda massif, Chile (37° S): mountain glaciers of an intensively-used mid-latitude landscape, *The Cryosphere Discuss.*, 5, 685-720.
- Mardones, M. & Jaque, E. (1992). Geomorfología del Valle del Río Laja. Primer Congreso de Ciencias de la Tierra: 115-121.
- Jiménez, & Porcel, L. (2008). Metodología para el estudio del Paisaje: Aplicación al espacio protegido de Sierra Nevada. *Cuadernos Geográficos*. 2(43): 151-179.
- Ortiz, E. & Pérez U. (2009). Imágenes Aster en la discriminación de áreas de uso agrícola en Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. 62(1): 4923-4935.
- Peña, M. (2007). Correcciones de una imagen satelital ASTER para estimar parámetros vegetacionales en la cuenca del río Mirta, Aisén. *Bosque*. 28 (2): 162-172.
- Peña, M., Aaltmann, S. (2009). Reconocimiento del efecto de *Cinara cupressi* (Hemiptera: Aphididae) en el estado sanitario de *Austrocedrus chilensis* mediante imágenes multiespectrales. *Bosque*. 30(3): 151-158.
- Pineda, J., Bonfilio, N., Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., Plata Riaño, D., Salas, J. & Chuvienco, E. (2000). Corrección atmosférica y topográfica, información multitemporal y auxiliar aplicada a la cartografía de modelos de combustibles con imágenes landsat TM. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*: 222-239.

- Rocha, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas (Mx)*. (69): 33-52.
- Rodríguez-Galiano, V., García-Soldado, M., Chica-Olmo, M., Pardo-Igúzquiza, E., Pérez-López, M. (2009). Análisis de los cambios de uso de suelo en la "Vega de Granada": correcciones radiométricas y evaluación del cambio. *Teledetección: Agua y desarrollo sostenible*. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección: 205-208.
- Segura, M. & Trincado, V. (2003). Cartografía digital de la Reserva Nacional Valdivia a partir de imágenes satelitales Landsat TM. *Bosque*. 24(2): 43-52.

Fecha de recepción: 15 de abril del 2013  
Fecha de aceptación: 15 de julio del 2013

