



Bosque

ISSN: 0304-8799

revistabosque@uach.cl

Universidad Austral de Chile

Chile

SEGURA M., REINALDO; TRINCADO V., GUILLERMO

Cartografía digital de la Reserva Nacional Valdivia a partir de imágenes satelitales Landsat TM

Bosque, vol. 24, núm. 2, agosto, 2003, pp. 43-52

Universidad Austral de Chile

Valdivia, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173114405005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica





Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



## Bosque (Valdivia)

ISSN 0717-9200 *versión on-line*

-  Como citar este artículo
-  Agregar a favoritos
-  Enviar a e-mail
-  Imprimir HTML

Bosque (Valdivia) v.24 n.2 Valdivia ago. 2003

---

Bosque, Vol. 24 N° 2, 2003, pp. 43-52

**NOTA TECNICA**

## Cartografía digital de la Reserva Nacional Valdivia a partir de imágenes satelitales Landsat TM

Digital cartography of the National Reserve in Valdivia based on Landsat TM images

**REINALDO SEGURA M., GUILLERMO TRINCADO V.**

Laboratorio de Geomática, Instituto de Manejo Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

---

### Summary

The objective of this study was to develop and evaluate a digital classification methodology for producing thematic cartography for the National Reserve in Valdivia using multispectral Landsat TM images. A supervised classification method with a maximum likelihood decision rule was selected for processing the satellite data. The proposed methodology permitted a separation of five different types of land uses, which corresponded to old native forest, secondary growth forest, plantation, shrub and grassland. Overall, the classification accuracy was about 64%, and the accuracy for the different forest types was about 77%. The results obtained can be considered acceptable, and are promising for the

preliminary mapping of areas covered with native forests.

*Key words:* Landsat TM, supervised classification, remote sensing.

## Resumen

El objetivo del estudio fue desarrollar y evaluar una metodología de clasificación digital para la generación de cartografía temática en la Reserva Nacional Valdivia empleando imágenes multiespectrales Landsat TM. El procesamiento de la información satelital fue realizado mediante un método de clasificación supervisado aplicando un algoritmo de máxima probabilidad. La metodología propuesta pudo identificar cinco clases de cobertura correspondientes a: bosque adulto, renoval, plantación, matorral y pradera. La exactitud de la clasificación global fue de un 64%, mientras que la exactitud de la clasificación de tipos de cobertura forestal fue de un 77%. Los resultados obtenidos pueden ser considerados aceptables y mostraron ser promisorios para el mapeo preliminar de áreas cubiertas con bosque nativo.

*Palabras claves:* Landsat TM, clasificación supervisada, sensores remotos.

---

## INTRODUCCION

Para un adecuado manejo de los recursos forestales se requiere contar con información confiable y actualizada, tanto de su distribución espacial y extensión como también de sus características propias tales como: tipos de estructura, composición de especies, clases de cobertura y alturas. En Chile la manera tradicional para obtener información de la localización de los recursos forestales ha sido a través de la utilización de interpretación visual de fotografías aéreas, la cual ha sido fundamental para la determinación de superficies según tipos de bosques ([Sandoval y Real 1994](#)).

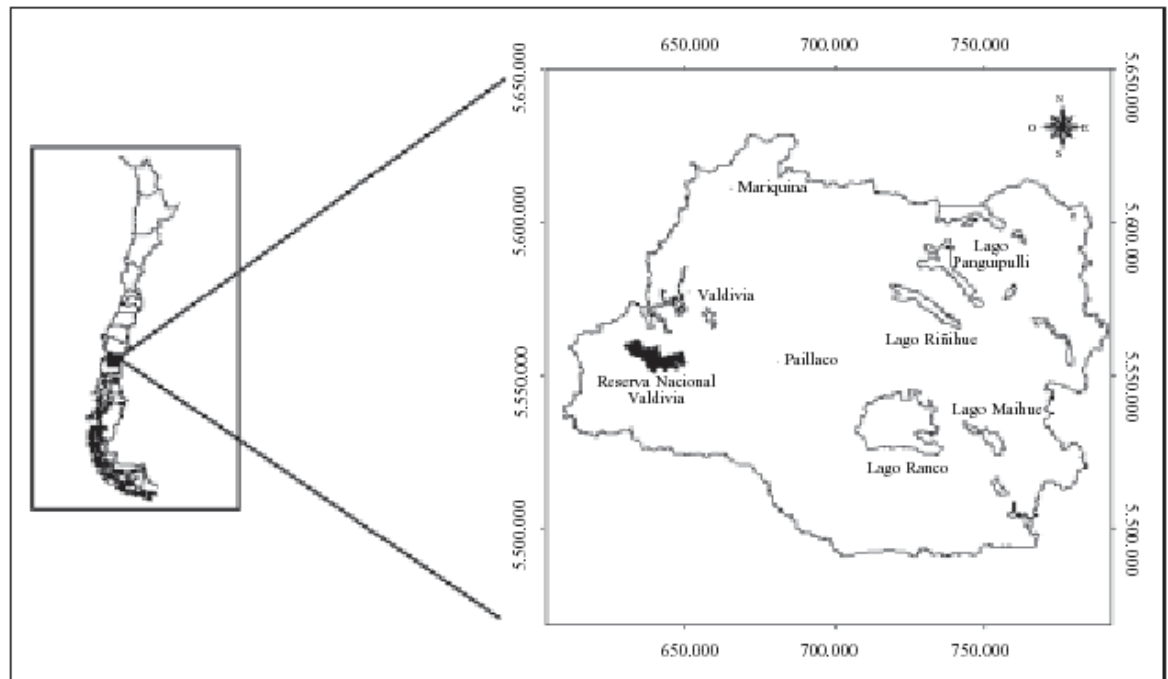
Por otro lado, el lanzamiento de la serie de satélites Landsat a partir de 1972 ha abierto una nueva forma para adquirir información de los recursos naturales y con ello la potencialidad de nuevas técnicas de análisis digital para identificar y mapear los recursos forestales ([Bauer et al. 1994](#), [Wolter et al. 1995](#)), permitiendo no sólo acceder a información de una manera más rápida y a menores costos en comparación a la metodología tradicional, sino también abarcar grandes áreas geográficas con vistas repetitivas.

Para utilizar en forma operativa estas técnicas digitales es necesario investigar su aplicabilidad y desarrollar nuevas metodologías orientadas a solucionar la actualización de información en cuanto a tipos de cobertura, superficies y distribución espacial de bosques naturales ([Patillo 1997](#)).

El objetivo de este estudio fue desarrollar y evaluar un procedimiento basado en datos satelitales multiespectrales del tipo Landsat TM para la generación de cartografía de uso del suelo en la Reserva Nacional Valdivia y comparar ésta con la obtenida a través de fotointerpretación tradicional.

## MATERIAL Y METODOS

*Area de estudio:* abarcó la Reserva Nacional Valdivia ubicada en la Décima Región de Los Lagos, provincia de Valdivia, y comuna de Corral ([figura 1](#)). La reserva está integrada por el predio fiscal La Romaza, con una superficie de 9.861 ha. Está cubierta casi en su totalidad con vegetación nativa, pudiendo distinguir el tipo forestal siempreverde y el tipo forestal Alerce ([Donoso 1981](#)). En algunos sectores existen vestigios de antiguos incendios forestales y corta de bosques, en los cuales se presenta una densa cubierta de renovales de Canelo.

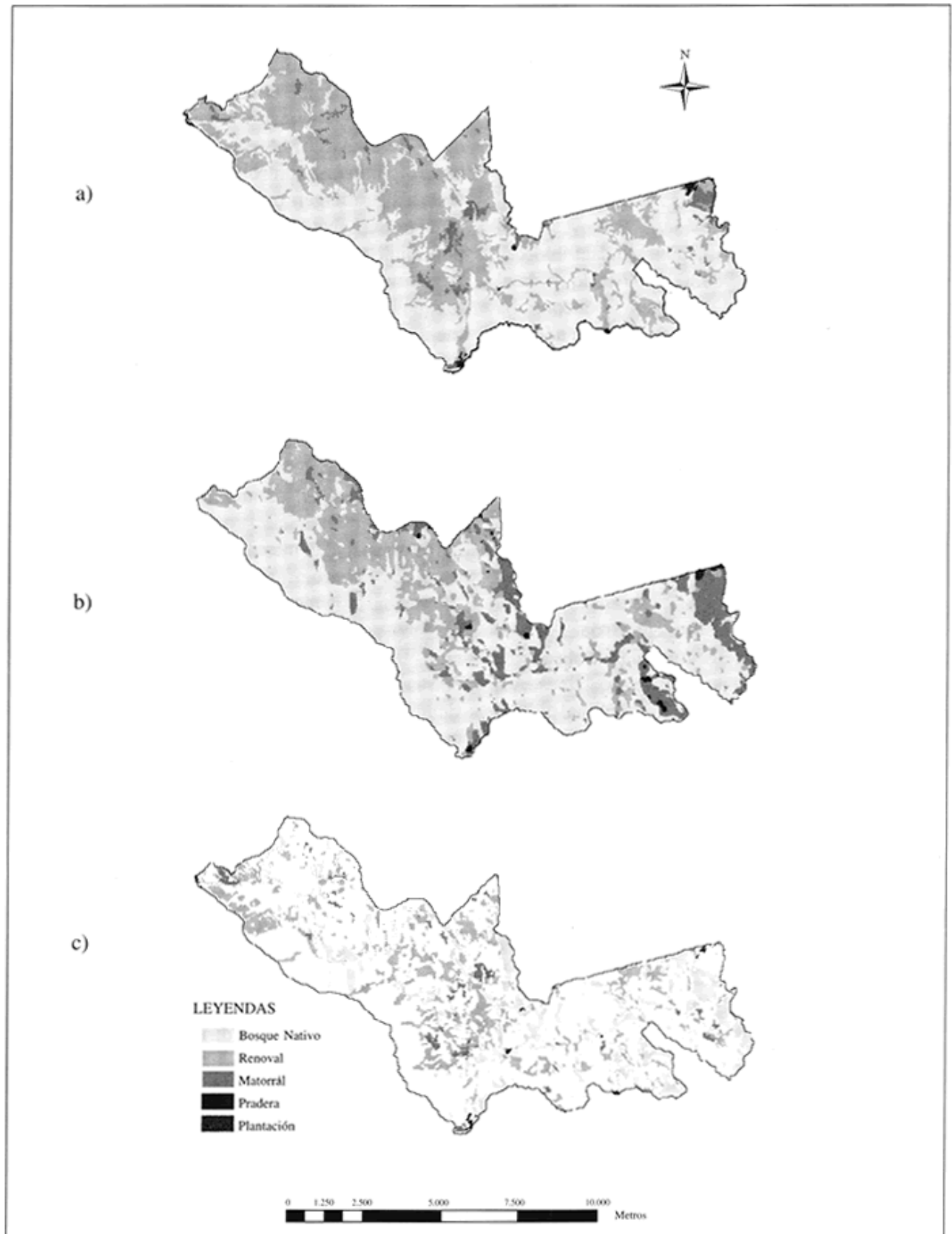


*Figura 1:* Ubicación del área de estudio.  
Location of the study area.

El suelo es montañoso de superficie rocosa y disectada por cumbres aplanadas. En la parte central del predio se origina gran cantidad de quebradas que drenan principalmente hacia el sur, cayendo con fuertes pendientes hacia los cursos de agua mayores. Las cotas sobre el nivel del mar alcanzan alturas que van desde los 100 hasta los 695 m s.n.m. ([Conaf 1997](#)).

*Información satelital:* la imagen Landsat TM correspondió a la número 98130000970 adquirida el 14 de febrero de 1998. La imagen se encontraba libre de nubes, presentando características adecuadas para el desarrollo del estudio. Debido a la gran superficie que abarcaba y para permitir un mejor tratamiento, fue necesario cortar una subescena de aproximadamente 140.000 ha. Posteriormente el procesamiento y análisis de la imagen fue realizado en un computador personal Pentium II de 400 mHz, empleando el programa ERDAS<sup>1</sup> Imagine 8.4 para computador personal, Arcview 3.1 y MultiSpec 1.2.

*Información cartográfica:* en enero de 1997 se tomaron fotografías aéreas con una escala media de 1:10.000 en toda la superficie de la reserva, presentando un recubrimiento longitudinal y lateral de 65 y 35%, respectivamente. Sobre este material fotográfico se realizó un trabajo de fotointerpretación tradicional iniciado en mayo del mismo año ([Emanuelli y Rivera 1998](#)). La cartografía fue concluida en noviembre de 1997 y sus resultados se encuentran en planos cartográficos a escala 1:10.000 ([figura 2a](#)). Con la información de cada polígono (rodal) interpretado, se procedió a agruparlos de acuerdo a cinco clases de uso del suelo ([cuadro 1](#)).



*Figura 2:* Mapas cartográficos obtenidos a través de: a) fotointerpretación de fotografías aéreas (escala: 1:10.000), b) clasificación supervisada imagen Landsat TM, y c) cruce entre mapas producidos a través de fotointerpretación y clasificación digital de imagen satelital.

Cartographic maps based on: a) photo-interpretation of aerial photography (scale: 1:10000), b) supervised classification of a Landsat TM image, and c) overlay between maps produced by photo-interpretation and satellite image classifications.

#### CUADRO 1

Superficies según usos del suelo estimado empleando fotointerpretación.  
Surfaces by land cover uses estimated using photo-interpretation.

| Áreas homogéneas | Superficie (ha) | %    |
|------------------|-----------------|------|
| Bosque adulto    | 5.457           | 55,3 |
| Renoval          | 4.047           | 41,0 |
| Plantación       | 15              | 0,2  |
| Matorral         | 322             | 3,3  |
| Praderas         | 20              | 0,2  |
| Total            | 9.861           | 100  |

Se puede apreciar que la mayor proporción de superficie corresponde a bosques naturales del tipo adulto (55,3%) y renovales (41%).

*Procesamiento digital de imágenes satelitales:* el procesamiento y análisis digital de la imagen de satélite fue desarrollado aplicando las siguientes etapas.

a) Corrección geométrica y radiométrica: la corrección geométrica (georreferenciación) fue realizada en función de las coberturas vectoriales de la red hidrológica y caminos de la cartografía regular del país (IGM) escala 1:50.000, previamente digitalizada por el proyecto "Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile" (CONAMA *et al.* 1997). Se seleccionaron 35 puntos de control, claramente identificados tanto en la imagen como en la cobertura de referencia. Para la función de ajuste se utilizó un polinomio de primer grado (ERDAS 1999), alcanzando un error medio cuadrático de 0,19 píxeles, lo que correspondió a un error de aproximadamente 5,7 m. Para el proceso de transferencia de los niveles digitales debido al cambio en la proyección se utilizó el método del Vecino más próximo o nearest neighbor (Jensen 1996).

La corrección radiométrica permitió transformar los valores de brillo captados por el sensor y representados por los niveles digitales a medidas físicas de reflectancia superficial, las cuales pueden ser asociadas más directamente con los distintos tipos de cobertura del suelo. Esta corrección fue hecha a través de una serie de cálculos matemáticos para corregir distintas fuentes de variación, tales como: las relacionadas con el sensor, con la iluminación y por las condiciones atmosféricas. Estos cálculos incluyeron una serie de funciones de calibración dependiendo de la fuente de variación del sensor, según la metodología propuesta por Green *et al.* (1999).

b) Selección de bandas y construcción de índices: de la totalidad de las bandas sólo la banda seis (TM6) fue descartada debido a su menor resolución espacial (120x120 m). Además de las bandas del TM se generó un grupo de cinco índices que fueron utilizados en la clasificación.

c) Tasseled Cap: está dirigida a obtener nuevas bandas por combinación lineal de las originales, con objeto de realzar algunos rasgos de interés en la escena (Crist y Ciccone 1984). Los componentes son: *Brillo*, que refleja los cambios en la reflectividad total de la escena, siendo la suma ponderada de todos los canales, excluido el térmico. *Verdor*, que indica el contraste entre las bandas visibles y el infrarrojo cercano, por lo tanto éste es el componente que mejor indica la cobertura vegetal. *Humedad*, que

se relaciona con el contenido de agua en la vegetación y el suelo ([Chuvieco 1996](#), [Bauer et al. 1994](#)).

Los coeficientes utilizados para la transformación fueron los siguientes ([Erdas 1999](#)):

$$\begin{aligned} \text{Brillo} &= 0,3037(\text{TM1}) + 0,2793(\text{TM2}) \\ &+ 0,4743(\text{TM3}) + 0,5585(\text{TM4}) \\ &+ 0,5082(\text{TM5}) + 0,1863(\text{TM7}) \end{aligned} \quad [1]$$

$$\begin{aligned} \text{Verdor} &= -0,2848(\text{TM1}) - 0,2435(\text{TM2}) \\ &- 0,5436(\text{TM3}) + 0,3406(\text{TM4}) \\ &+ 0,0840(\text{TM5}) - 0,1800(\text{TM7}) \end{aligned} \quad [2]$$

$$\begin{aligned} \text{Humedad} &= 0,1509(\text{TM1}) + 0,1973(\text{TM2}) \\ &+ 0,3279(\text{TM3}) + 0,3406(\text{TM4}) \\ &- 0,7112(\text{TM5}) - 0,4572(\text{TM7}) \end{aligned} \quad [3]$$

d) Índices de diferencia normalizada: el segundo grupo de índices consistió en cuocientes de las distintas bandas que intensifican las características del dosel forestal. Este grupo está basado en el *índice de vegetación de diferencia normalizada* (NDVI) e *índice infrarrojo de diferencia normalizada* (NDII). Estos índices se basan en el claro contraste espectral de la vegetación que existe entre el infrarrojo cercano (TM4), la banda roja (TM3) y el infrarrojo medio (TM5). Estos se calcularon según:

$$\text{NDVI} = \text{TM4} - \text{TM3} / \text{TM4} + \text{TM3} \quad [4]$$

$$\text{NDII} = \text{TM4} - \text{TM5} / \text{TM4} + \text{TM5} \quad [5]$$

e) Clasificación digital de la imagen satelital: el método utilizado en la clasificación fue el supervisado ([Chuvieco 1996](#)). En este proceso se seleccionaron píxeles que representaron los patrones de los tipos de cobertura del suelo (áreas de entrenamiento) que fueron reconocidos o que se identificaron con ayuda de otras fuentes auxiliares como fueron fotografías aéreas y mapas. Una vez que se identificaron los patrones, se procedió a entrenar al computador para identificar píxeles con características similares.

f) Fase de entrenamiento: el método utilizado para la selección de las áreas de entrenamiento fue el denominado píxel semilla con límites espaciales. Este consistió en identificar píxeles puros que son representativos del área de entrenamiento ([Chuvieco 1996](#)). Cuando uno o más píxeles contiguos al píxel semilla fueron aceptados, se calculó la media espectral del área de entrenamiento. Posteriormente cada área de entrenamiento fue unida en una *signatura*<sup>2</sup> determinada y se calcularon sus estadísticos. Una vez definidas las *signaturas* y antes de abordar el proceso de clasificación propiamente tal, fue necesario evaluar la viabilidad de que esas categorías puedan clasificarse sin grave riesgo de error. Como un primer acercamiento a las tendencias espectrales de cada *signatura* se realizó un análisis del diagrama de *signaturas* y un análisis de una matriz de contingencia o matriz de error.

Para la elección del grupo óptimo de bandas para la clasificación se utilizó la divergencia estadística transformada. La divergencia estadística parte de la base de que los niveles digitales en una categoría se distribuyen normalmente, considerando la separabilidad como medida del solape entre categorías vecinas. Un valor de divergencia transformada de 2.000 sugiere excelente separación de clases, sobre 1.900 provee una buena separación, mientras que bajo 1.700 indica una pobre separación entre clases ([Jensen 1996](#)).

g) Fase de asignación: el método empleado fue el de máxima probabilidad, siendo el que presenta una mejor base teórica, aún cuando es uno de los complejos y que demanda un mayor tiempo de cálculo ([Chuvieco 1996](#)). Después de culminado con el proceso de clasificación, la imagen fue filtrada para remover la apariencia de sal y pimienta (salt and pepper)<sup>3</sup>. Se empleó un filtro de mayoría, en que el píxel central se asigna a la categoría que cuenta con la mitad más uno de los píxeles vecinos. En caso que ninguna categoría sobrepase ese valor, el píxel central mantiene su asignación anterior. Esta comparación se realizó a partir de una ventana móvil de 5 x 5 píxeles por su facilidad de aplicación y

mínimo sesgo ([Bauer et al. 1994](#), [Chuvieco 1996](#)).

h) Fase de comprobación y verificación: toda clasificación presenta un margen de error que está dado por la calidad de los datos y por el método de clasificación empleado. Por ello fue necesario aplicar un procedimiento de verificación que permitiera cuantificar el error obtenido. El diseño de muestreo empleado fue el aleatorio estratificado, en que cada clase temática tuvo un cierto número de puntos de muestreo de acuerdo a la superficie de cada unidad temática. En total se consideró un total de 256 puntos de muestreo.

Después que la información de referencia (mapas temáticos) fue recogida desde los puntos localizados aleatoriamente, éstos fueron comparados píxel a píxel con la información derivada de la clasificación digital. Las concordancias y no-concordancias fueron resumidas en una matriz de error, que fue evaluada a través de una descripción estadística y de una técnica estadística de análisis discreto multivariado denominada estadístico Kappa ( $K_{\text{hat}}$ ).

Para el cálculo de la exactitud global ( $ExG$ ) se relacionan los elementos de la diagonal con el total de puntos de muestreo según:

$$ExG = \frac{\sum_{i=1,a} X_{ii}}{\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} X_{ij}} \quad [6]$$

donde :

$X_{ii}$  = elementos de la diagonal,

$X_{ij}$  = total de puntos muestreados.

Además se realizó un análisis de las relaciones múltiples entre las categorías. Para esto se empleó un análisis categórico multivariado denominado estadístico Kappa ( $K_{\text{hat}}$ ), que mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado y el que se podría esperar simplemente por azar ([Lillesand y Kiefer 1994](#)). El estadístico  $K_{\text{hat}}$  se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$K_{\text{hat}} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})} \quad [7]$$

donde :

$r$  = número de filas en la matriz,

$X_{ij}$  = número de observaciones en la fila  $i$  y columna  $j$ ,

$X_{i+}$ ;  $X_{+i}$  = total marginal para la fila  $i$  y columna  $i$ ,

$N$  = número total de observaciones (=256).

Un valor de  $K_{\text{hat}}$  igual a 1 indica un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa, mientras que un valor cercano a 0 sugiere que el acuerdo observado es puramente debido al azar.

*Fotointerpretación y clasificación digital:* finalmente se realizó un análisis visual entre las distintas superficies generadas tanto a través de la clasificación digital como de la fotointerpretación tradicional, mediante un cruce (overlay) entre ambas coberturas. Esto con el fin de determinar cuáles áreas son o no coincidentes en cuanto a su uso y desde el punto de vista de su distribución espacial.

## RESULTADOS Y DISCUSION

*Áreas de entrenamiento:* la interpretación de la imagen satelital, basada en información de verdad-



terreno, permitió la discriminación espectral de cinco diferentes tipos de cobertura: Bosque adulto (BA), Renoval (RE), Plantación (PL), Matorral (MA) y Pradera (PR).

Al seleccionar la ubicación, número y tamaño de las áreas de entrenamiento se tomó en consideración mantener una correspondencia con las superficies de las distintas clases temáticas definidas mediante el proceso de fotointerpretación tradicional ([cuadro 2](#)).

CUADRO 2

Clases temáticas y descripción de las áreas de entrenamiento.  
Thematic classes and a description of the different training areas.

| Clase temática | Código | Número de píxeles | Superficie (ha) |
|----------------|--------|-------------------|-----------------|
| Bosque adulto  | BA     | 477               | 42,9            |
| Renoval        | RE     | 397               | 35,7            |
| Plantación     | PL     | 40                | 3,6             |
| Matorral       | MA     | 210               | 18,9            |
| Pradera        | PR     | 24                | 2,2             |
| Total          |        | 1.148             | 103,3           |

*Evaluación de la clasificación digital:* de todas las combinaciones de bandas evaluadas los mejores resultados se obtuvieron con la combinación TM1, TM2, TM3, TM4, TM5, TM7 y NDII. El valor medio de separabilidad espectral de pares de bandas medida a través de la divergencia transformada fue de 2.000.

*Matriz de confusión:* en una matriz de error las columnas se ocupan para las clases de referencia y las filas para las clases deducidas de la clasificación digital. La diagonal de la matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produce acuerdo entre las dos fuentes (mapa y realidad), mientras los marginales suponen errores de asignación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total expresa la fiabilidad global del mapa. Los residuales en columnas indican tipos de cubierta real que no se incluyeron en el mapa, mientras los residuales en filas implican cubiertas del mapa que no se ajustan a la realidad. En definitiva, representan los errores de comisión y de omisión, también se habla de exactitud del usuario y del productor ([Chuvieco 1996](#)).

La exactitud de la clasificación global fue de 64%, presentando un coeficiente Kappa ( $K_{hat}$ ) de 0,45, lo que indica que la clasificación es 45% mejor que la esperable por el simple azar ([cuadro 3](#)).

CUADRO 3

Matriz de error en la clasificación global.  
Error matrix for the overall classification.

| Datos clasificados      | Sin clasificar | Datos de referencia |           |                               |          |          | Total fila | Exac. del usuario (%) | Error de comisión (%) |
|-------------------------|----------------|---------------------|-----------|-------------------------------|----------|----------|------------|-----------------------|-----------------------|
|                         |                | BA                  | RE        | PL                            | MA       | PR       |            |                       |                       |
| Sin clasificar          | 1              | 0                   | 1         | 0                             | 0        | 0        | 2          | –                     | –                     |
| BA                      | 0              | <b>87</b>           | 30        | 0                             | 1        | 0        | 118        | 74                    | 26                    |
| RE                      | 0              | 12                  | <b>56</b> | 0                             | 2        | 0        | 70         | 80                    | 20                    |
| PL                      | 0              | 0                   | 2         | <b>12</b>                     | 0        | 0        | 14         | 86                    | 14                    |
| MA                      | 0              | 17                  | 19        | 2                             | <b>4</b> | 0        | 42         | 10                    | 90                    |
| PR                      | 0              | 1                   | 6         | 0                             | 0        | <b>3</b> | 10         | 30                    | 70                    |
| Total Columna           | 1              | 117                 | 114       | 14                            | 7        | 3        | <b>256</b> |                       |                       |
| Exac. del Productor (%) | –              | 74                  | 49        | 86                            | 57       | 100      |            |                       |                       |
| Error de omisión (%)    | –              | 26                  | 51        | 14                            | 43       | 0        |            |                       |                       |
| ExG (%) = 64            |                |                     |           | <b>K<sub>hat</sub> = 0,45</b> |          |          |            | <b>Diagonal = 162</b> |                       |

Estos resultados pueden ser considerados como pobres en cuanto a la exactitud global (64%), pero al hacer un análisis más detallado de la matriz de error y teniendo en consideración que dentro de los objetivos de este estudio se encuentra cartografiar las categorías forestales, se aprecia que los resultados obtenidos son aceptables. Se puede observar que la categoría de matorral (MA) presenta altos valores tanto en los errores de comisión (inclusión) como en los de omisión (exclusión), mientras que la categoría pradera (PR) presenta un alto error de comisión, los cuales afectaron la exactitud global de la clasificación. Las categorías forestales presentan bajos valores de error, exceptuando la categoría renoval (RE), que presenta un error de omisión de 51%, confundándose con la categoría bosque adulto (BA) y matorral (MA).

El cuadro 4 presenta un análisis de las categorías forestales; para este caso se tiene una exactitud global (ExG) de 77% y con un coeficiente Kappa de 0,60, lo que indica que la clasificación es 60% mejor que la esperable por el simple azar, pudiéndose considerar, de acuerdo a otros estudios, como adecuado para el mapeo de categorías forestales ([Bauer \*et al.\* 1994](#), [Lillesand y Kiefer 1994](#)).

#### CUADRO 4

Matriz de error para los tipos de cobertura forestal.  
Error matrix by forest type.

| Datos clasificados      | Sin clasificar | Datos de referencia          |           |           | Total fila | Exac. del usuario (%) | Error de comisión (%) |
|-------------------------|----------------|------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------------------|-----------------------|
|                         |                | BA                           | RE        | PL        |            |                       |                       |
| Sin clasificar          | 1              | 0                            | 1         | 0         | 1          | –                     | –                     |
| BA                      | 0              | <b>87</b>                    | 30        | 0         | 117        | 74                    | 26                    |
| RE                      | 0              | 12                           | <b>56</b> | 0         | 68         | 82                    | 18                    |
| PL                      | 0              | 0                            | 2         | <b>12</b> | 14         | 86                    | 14                    |
| Total Columna           | 1              | 99                           | 89        | 12        | <b>201</b> |                       |                       |
| Exac. del Productor (%) | –              | 88                           | 63        | 100       |            |                       |                       |
| Error de omisión (%)    | –              | 12                           | 37        | 0         |            |                       |                       |
| ExG (%) = 77            |                | <b>K<sub>hai</sub> = 0,6</b> |           |           |            | <b>Diagonal = 155</b> |                       |

Al observar la matriz de error se aprecia que las mayores confusiones dentro de las coberturas de bosques se presentan entre las categorías bosque adulto (BA) y renewal (RE).

La única categoría que es altamente confiable es la clase plantación (PL), presentando una exactitud del productor de un 100% y una exactitud del usuario de 86%, demostrándose que es fácilmente diferenciable de los bosques naturales.

Con respecto a los píxeles sin clasificar, esto se debió a que se encontraba fuera del área de estudio.

La figura 2b muestra la distribución espacial de los tipos de cobertura de la Reserva Nacional Valdivia, proveniente de la clasificación digital realizada sobre la imagen satelital.

*Comparación espacial de superficies de uso del suelo:* al realizar el cruce de los mapas generados a través de fotointerpretación y clasificación digital de imágenes, se obtuvo un acierto ponderado por superficie de un 65% ([cuadro 5](#)). Siendo la categoría Bosque Adulto la que destaca por su alto nivel de acierto (79%) y la categoría renewal (RE), la cual produce la mayor confusión con la categoría bosque adulto (BA). Esto se puede deber a la dificultad de los datos satelitales para representar el gradiente continuo de sucesión de estos bosques. Estos resultados son coincidentes con los encontrados por [Evans et al. \(2001\)](#), quienes determinaron que se produjeron confusiones entre bosques secundarios y bosques avanzados. Los autores concluyen que esa confusión se puede deber a las categorías discretas usadas para representar un gradiente continuo del crecimiento de los bosques.

CUADRO 5

Comparación de superficies generadas a través de fotointerpretación tradicional y clasificación digital.  
Comparison of surfaces generated using aerial photo-interpretation and digital satellite classifications.

| Fotointerpretación tradicional | Clasificación digital |              |          |            |          | Total (ha) | Acierto (%) |
|--------------------------------|-----------------------|--------------|----------|------------|----------|------------|-------------|
|                                | BA                    | RE           | PL       | MA         | PR       |            |             |
| BA                             | <b>4.297</b>          | 468          | 0        | 671        | 8        | 5.444      | 79          |
| RE                             | 1.534                 | <b>1.972</b> | 4        | 498        | 15       | 4.023      | 49          |
| PL                             | 0                     | 2            | <b>6</b> | 4          | 0        | 12         | 50          |
| MA                             | 100                   | 114          | 0        | <b>143</b> | 2        | 359        | 40          |
| PR                             | 5                     | 0            | 1        | 12         | <b>5</b> | 23         | 20          |

|       |       |       |    |       |    |       |   |
|-------|-------|-------|----|-------|----|-------|---|
| Total | 5.936 | 2.556 | 11 | 1.328 | 30 | 9.861 | - |
|-------|-------|-------|----|-------|----|-------|---|

En la [figura 2c](#) se muestra el cruce (overlay) entre la clasificación digital ([figura 2b](#)) y la clasificación generada a través de fotointerpretación tradicional ([figura 2a](#)), indicándose todas aquellas áreas que fueron clasificadas erróneamente y asignadas a una categoría distinta en la clasificación digital.

La clase temática que produjo más confusión fue la clase renoval (RE), seguida por bosque adulto (BA) y la clase matorral (MA). Esto debido a que los rodales forestales suelen ser definidos en forma subjetiva por las personas encargadas de hacer la fotointerpretación, en cambio las radianzas espectrales medidas por los datos del sensor TM son determinadas por las propiedades biofísicas de los tipos de cobertura dentro de cada píxel ([Bauer et al. 1994](#)).

## CONCLUSIONES

En estas condiciones de bosque se determinó que las mejores combinaciones de bandas correspondieron a las seis bandas del sensor TM en conjunto con el Índice Infrarrojo de Diferencia Normalizada (NDII). Al realizar la clasificación digital con este conjunto de bandas fue posible distinguir cinco clases temáticas, correspondientes a bosque adulto, renoval, plantación, matorral y pradera.

A través de la clasificación digital se obtuvo una exactitud global de 64% ( $K_{\text{hat}} = 0,44$ ), siendo las clases Matorral y Pradera las que obtuvieron los mayores valores de error tanto de omisión como de comisión. Al aislar la cobertura de bosques se obtuvo una exactitud de 77% ( $K_{\text{hat}} = 0,60$ ), lo cual puede ser considerado aceptable dadas las condiciones topográficas y de exposición existentes en el área de estudio.

Al realizar el cruce digital de información entre la cartografía generada a través de fotointerpretación y procesamiento digital de una imagen satelital Landsat TM se pudo comprobar que existen confusiones entre bosques adultos y renovales, principalmente debido a la dificultad de separar ambas formaciones de manera discreta.

El estudio realizado demuestra la factibilidad de utilizar información satelital del tipo Landsat TM en conjunto con información auxiliar para la generación de una cartografía preliminar con una exactitud aceptable y de bajo costo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) por facilitar la información cartográfica digital utilizada en el desarrollo de este estudio.

## NOTAS

<sup>1</sup> Earth Resources Data Analysis System.

<sup>2</sup> Forma peculiar de reflejar o emitir energía de un determinado objeto o cubierta. Está afectada por las características físicas o químicas del objeto que interactúan con la energía electromagnética, y varía según la longitud de onda (Chuvieco 1996).

<sup>3</sup> Los resultados de una clasificación adolecen de una excesiva fragmentación, las diversas categorías se imbrican entre sí, manchas de color, más o menos homogéneas se encuentran salpicadas por píxeles asignados a otras categorías, perdiéndose su unidad geográfica y dificultando la interpretación de los resultados.

## BIBLIOGRAFIA

- BAUER, M., A. BURK, P. EK, S. COPPIN, T. LIME, D. WALSH, W. WALTERS, D. HEINZEN. 1994. "Satellite inventory of Minnesota forest resources", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 60 (3): 287-298.
- CHUVIECO, E. 1996. *Fundamentos de teledetección espacial*. 3ª ed. Revisada. Madrid (España), Rialp, S.A. 568 p.
- CONAF, CONAMA. 1999. *Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile*. Informe final con variables ambientales. Santiago de Chile. 90 p.
- CONAF. 1997. "Plan de Manejo Reserva Nacional Valdivia (Período 1997-2006)". *Documento de Trabajo* N° 257. 163 p.
- CRIST, P., R. CICONE. 1984. "Application of the Tasseled Cap concept to simulated Thematic Mapper data". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 50:343- 352.
- DONOSO, C. 1981. "Tipos forestales de los bosques nativos de Chile". CONAF, FAO. *Documento de Trabajo* N° 38. Santiago (Chile). 70 p.
- EMANUELLI, P., H. RIVERA. 1998. "Fotointerpretación, cartografía, levantamiento de información y funciones de volumen". En: CONAF, GTZ. *Estado de avance de las actividades del plan de ordenación de la Reserva Nacional Valdivia*. Santiago (Chile).
- ERDAS. 1999. *Erdas Field Guide*. fifth edition, revised and expanded. Erdas Inc., Atlanta, Georgia. 698 p.
- EVANS, T., G. GREEN, L. CARLSON. 2001. *Multi-scale analysis of landcover composition and landscape management of public and private lands in Indiana. Chapter in GIS and remote sensing applications in biogeography and ecology*. Boston, Mass.: Kluwer Academic Publications.
- GREEN, G., C.M., SCHWEIK, M. HANSON. 1999. *Radiometric calibration of Landsat multispectral scanner and thematic mapper images: Guidelines for the global changes community*. CIPEC-Indiana University Working paper.
- JENSEN, J. 1996. *Introductory digital image processing*. 2<sup>nd</sup> Edition. Ed. Prentice hall, New Yersey, USA. 316 p.
- LILLESAND, T.R., R. W. KIEFER. 1994. *Remote sensing and image interpretation*. 3<sup>rd</sup> ed. New York, John Wiley and Sons. 750 p.
- PATILLO, C., R. HONORATO, N. COVACEVIC, A. SANTANA, C. MALEBRAN, E. PEZOA. 1997. "Aplicación de teledetección y SIG en la evaluación de los recursos pratenses en la Región de Magallanes", *Ciencia e investigación agraria*. 24 (2): 103-111.
- SANDOVAL, V., P. REAL. 1994. "Fotogrametría, fotointerpretación y sistemas de información geográfica", *Publicación docente N° 18*, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 60 p.
- WOLTER, P., D. MLADENOFF, G. HOST, T. CROW. 1995. "Improved forest classification in the Northern lake states using multi-temporal Landsat imagery", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 61 (9): 1129-1143.

