

Memorias



Sociedad Latinoamericana en
Percepción Remota y Sistemas
de Información Espacial
Capítulo Colombia

30
AÑOS

Medellín, Colombia
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014



Clasificación y descripción fisiográfica de bosques de *Araucaria araucana* en el sur de Chile: uso del satélite Landsat TM

Classification and physiographic description of *Araucaria araucana* forests in the South of Chile: Landsat TM satellite usage

Ojeda, N.¹ y Soto, H.²

1 Universidad de la Frontera, Avda. Francisco Salazar 01145, Temuco, nelson.ojeda@ufrontera.cl, Académico Departamento de Ciencias Forestales.

2 Corporación Nacional Forestal, Merced 731 Vallenar, hector.soto.vera@conaf.cl, Analista Fiscalizador.

SUMMARY

The Landsat satellite has proved its applicability for research about forestry ecosystems as well as its usefulness in the study of Chile center-south araucaria forests. These are millenarian and endemic forests from the southern area of Latin America and have ecological and landscape value. This investigation had as its objective to classify and structurally characterize araucaria forests using Landsat-5 TM, including relief variables for its physiographic description. The study area comprises 46.000 ha located in Conguillío National Park. A Landsat-5 TM satellite image, year 2003, was used. Its resolution is 30 x 30m. The programs used were Idrisi Kilimanjaro, ArcGis and SPSS. Forest with altitude, exposure and slope were related. The real map envisaged 105 points and the confusion matrix allowed statistical analysis. 10 sample plots in each category using forest inventory and it fitosociología were performed. Kappa index turned out to be 75,4% and the global reliability was 89,52%. Seven types of forest and eight physiographic profiles were obtained. It is concluded that there exists a relation among the relief and the highest or smallest density of individuals. In this case, the thematic cartography offers the possibility to direct Management Plan in order to protect and preserve those forestss.

Key words: *Araucaria araucana*, Landsat TM, relief, topographic model, physiography

RESUMEN

El satélite Landsat ha demostrado su aplicabilidad para el estudio de ecosistemas vegetales, por ello su utilidad en el estudio de bosques de *A. araucana* en el centro-sur de Chile. Estos bosques son milenarios, endémicos del Sur de América Latina y poseen valor ecológico y paisajístico. La presente investigación tuvo como objetivo clasificar y caracterizar estructuralmente bosques de araucaria, utilizando Landsat-5 TM e

incorporando variables de relieve para su descripción fisiográfica. El área de estudio posee 46.000 ha localizada en el P.N. Conguillío. Se utilizaron imágenes Landsat-5 TM del año 2003. Su resolución es de 30 × 30 m. Se utilizó Idrisi Kilimanjaro, ArcGis y SPSS. Se relacionaron los bosques con la altitud, exposición y pendiente. El mapa de verdad contempló 105 puntos y la matriz de confusión permitió el análisis estadístico. Se realizaron 10 parcelas de muestreo en cada categoría utilizando para ello inventario forestal y fitosociología. El Índice Kappa resultó ser de un 75,4% y la fiabilidad global de 89,52%. Se obtuvieron siete tipos de bosques y ocho perfiles fisiográficos. Se concluye que existe una relación entre el relieve y la mayor o menor densidad de individuos. La cartografía temática obtenida permite orientar los Planes de Manejo para proteger y conservar estos bosques.

Palabras clave: *Araucaria araucana*, Landsat TM, relieve, modelo topográfico, fisiografía.

INTRODUCCIÓN

El satélite Landsat ha demostrado su aplicabilidad para la investigación en ecosistemas boscosos por ello su utilidad para estudiar los bosques de *Araucaria araucana* (Mol) K. Koch., en el centro-sur de Chile. Los autores Franklin *et al.* (1986), Fuentes (1994) y Ojeda *et al.* (2012), estiman que realizar una clasificación de vegetación es muy útil para estudiar la distribución espacial de los ecosistemas boscosos. En este sentido, la importancia del uso de imágenes de satélite es que permite evaluar comunidades de *A. araucaria* para escalar hasta una microzonificación de su distribución espacial, describiendo así áreas inaccesibles a un relativo bajo costos y menos tiempo, que otros métodos convencionales. La utilización de programas computacionales útiles para el procesamiento de información raster-vector satelitales, permiten derivar relaciones entre los bosques y el relieve, en este caso de *A. araucana*, obteniendo así una adecuada descripción fisiográfica. Sumando a ello la descripción de su disposición espacial. Se obtiene una información cartográfica a una escala de mayor detalle (Giwen 1994).

Los bosques de *A. araucana* son milenarios y endémicos del Sur de América Latina y son importantes para la sociedad por su valor ecológico y paisajístico. Sin embargo, a pesar de encontrarse en Parques Nacionales, sufren los efectos de la presión antropogénica. Los bosques de *A. araucana* representan un ecosistema único a nivel mundial, y la especie es reconocida por su importancia como recurso biológico y como constituyente de una fuente genética única en el mundo. En Chile, la especie es declarada monumento natural y actualmente se encuentra en la categoría vulnerable. En el año 1976 el Ministerio de Agricultura prohíbe su corta y en 1990 a través del D.S. N°43 la declara Monumento Natural y es incluida en el apéndice I del CITES (CONAF 1985; Smith & Ramírez 1994). En este contexto, se plantea que el conocimiento de especies arbóreas con problemas de conservación es escaso y requieren de mayor investigación (Cabrera & Willink 1973).

Este ecosistema Andino se ha originado por transformaciones del paisaje y acontecimientos naturales (Moreno & Fuentealba 1994). Sobre las perturbaciones, alteraciones alogénicas o catastróficas, Veblen *et al.* (1996) establecen que las discontinuidades espaciales en la distribución de las especies vegetales producen frecuentemente mosaicos de manchas de diferente composición y/o estructura, frecuente en la Cordillera de los Andes de la Región de La Araucanía, Chile. Los deslizamientos pueden cubrir varias hectáreas. Respecto de *A. araucana* y las catástrofes naturales, se puede agregar que éstas las afectan y pueden ser tormentas de viento, volcanismo e incendios. En este sentido, la distribución de *A. araucana* está asociada con la localización de muchos volcanes activos. Entre las especies latifoliadas destaca *Nothofagus antarctica* puesto que presenta una excepcional tolerancia a distintas formas de estrés, y por lo tanto resiste de buena manera las condiciones catastróficas. En el mismo contexto, Veblen *et al.* (1982) cita

la relación que existe entre especies dominantes del bosque y los disturbios por catástrofes periódicas, y plantea que es más que un fenómeno local de Chile se produce también en otras latitudes.

En Chile la fisiografía de los bosques de *A. araucana* ha sido poco tratada, menos a una escala de manejo, en la cual se relaciona la disposición espacial de un ecosistema boscoso y los factores de relieve, altitud, exposición y pendiente (Krebs 1985). La importancia radica en que es posible entender la dinámica y desarrollo de estos ecosistemas desde su auto-ecología como también desde el efecto que producen las perturbaciones naturales (Odum 1972). En Chile, algunos autores (Schmidthüsen 1970) señalan la necesidad de comprender de que manera los factores físicos influyen en la disposición espacial de los bosques en Chile. En este contexto, el Parque Nacional Conguillío (PNC) contiene ecosistemas naturales con escasa alteración antropogénica y posee un relieve marcadamente abrupto, lo que extrema la relación bosques y las variables físicas, favoreciendo la descripción del modelado fisiográfico.

La presente investigación tiene como objetivo clasificar y caracterizar bosques de *A. araucaria* mediante imágenes Landsat TM. Estos bosques crecen en el Parque Nacional Conguillío con alto grado de conservación, característica ecológica que ayudó a describir de mejor manera la relación fisiográfica que existe entre ellos versus los factores, altitud, exposición y pendiente.

DESARROLLO DEL TEMA:

METODOLOGÍA

Área de estudio. Corresponde al Parque Nacional Conguillío. Se enmarca en la Cordillera de los Andes, en el centro-sur de Chile, entre las coordenadas geográficas 38°30' a 38°50' latitud Sur y 71°30' a 71°55' longitud Oeste y a una altitud entre los 700 a 3.125 msnm. Abarca una superficie de 46.000 ha (Fig. 1).

Material de apoyo utilizado. Se utilizaron fotografías aéreas del PNC, escala 1:115.000 del año 2000, curvas de nivel escala 1:50.000 y el catastro CONAF del PNC, año 1997. Se utilizó una imagen de satélite Landsat TM, del período estival de 2003 debido a que posee poco efecto de sombra. Esta presenta una resolución espacial de 30 × 30 m, con siete bandas espectrales, excluyendo la banda termal. A la imagen se le aplicaron las correcciones y mejoras correspondientes. Para el procesamiento de la información se utilizó el programa Idrisi Kilimanjaro, Arcview Versión 3.2 y el programa estadístico SPSS versión 11.0.

Para el muestreo de terreno. Se realizaron 10 parcelas en zonas representativas para cada categoría, utilizando para ello técnicas de inventario forestal y fitosociología. En cada parcela de 25 × 25 m se registró la especie, la altura total (H , en m), diámetro a la altura del pecho (dap en cm), cobertura de copa (cc , en %) (Lu 2005, Ojeda *et al.* 2011. También se registró la altitud (m.s.n.m.), exposición (°) y pendiente (%).

Análisis de Componentes Principales. Mediante este análisis se definen las combinaciones de bandas que resultan ser linealmente independiente entre sí. Luego se seleccionarán aquellas en las cuales se concentra la mayor información (Bauer *et al.* 1995). Como realces

y mejoras de la imagen, se aplican técnicas destinadas a mejorar la calidad visual de la imagen y facilitar con ello el análisis visual de la misma (Pinilla 1995).

Los modelos cartográficos. Permiten la confección de un “Digital Elevation Model” (Modelo Digital de Elevación, DEM), con el cual se podrá obtener las imágenes modelos. Se importan las curvas escala 1:5.000 pertenecientes al PNC en formato “Shape” de Arcview a Idrisi, obteniendo archivos vectoriales. A continuación, se reclasifican los valores de esta imagen a partir de su listado de valores. Se obtiene una imagen vectorial con las cotas del PNC.

Para la creación de la imagen raster modelo – altitud, se considera la imagen DEM reclasificándola con los rangos de altitud, entre 800 y 1.900 msnm, con intervalos de 100 m. Para la creación de imágenes raster se utilizaron los siguientes modelos (Fig. 2, 3). Para la verificación de los modelos creados se procede a su ejecución en forma individual.

Clasificación semisupervisada. Para iniciar la etapa de clasificación de la imagen, se definen las unidades temáticas, las cuales se asignan a partir de la interpretación de la imagen y visitas de terreno. La clasificación se lleva a cabo mediante la aplicación del método semi-supervisado. Para ello, se aplica un entrenamiento no supervisado (“Cluster”) para obtener una clasificación inicial. Posteriormente, se aplica la clasificación supervisada con información de terreno y material cartográfico. Se comparan gráficamente las firmas espectrales de las bandas, a través de un grafico X e Y que muestra los valores de los ND de cada firma espectral para cada una de las bandas utilizadas en la clasificación. Definidas las categorías se asignan los píxeles de la imagen a cada una de éstas (Alzate 2002). Para obtener la validación de los resultados de la clasificación, se procede realizar un muestreo aleatorio en el área de estudio, definiendo puntos de control para las categorías de interés.

Estos puntos son verificados en terreno. La matriz de confusión permite calcular la fiabilidad global del mapa, como la calidad global a través del estadístico Kappa (ec. 1).

Tabulación cruzada de categorías y variables físicas. Una segregación de categorías de interés permite realizar el análisis con las variables del medio físico; altitud, pendiente y exposición. Mediante el cruzamiento de variables se comparan dos mapas con datos cualitativos. La imagen resultante contiene un único valor por cada combinación de valores de entrada. Es decir, este módulo permite relacionar cada grupo de interés de *A. araucana* con cada imagen modelo, obteniendo como resultado una imagen raster y tablas numéricas tabuladas. Posteriormente se cruza cada grupo de interés y su correspondiente imagen modelo (Fig. 4). Al cabo de este cruzamiento se obtiene como resultado tres imágenes raster, donde cada una de ellas describe la disposición espacial y distribución de los grupos en relación a la variable física de interés (Imagen modelo). Una tercera etapa relaciona cada imagen resultante con una segunda imagen modelo. Con ello se obtiene una segunda imagen raster más compleja. Esta describe la distribución y disposición espacial en relación a dos variables físicas (Fig. 5). Se debe obtener una tabulación para cada grupo de *A. araucana*, en la cual se exprese numéricamente la relación de un grupo determinado y las tres variables físicas o Imágenes modelo.

Para la confección de los perfiles fisiográficos de altitud, se incorpora la densidad poblacional de cada grupo de *A. araucana*, con la variable altitud, pendiente y exposición (Austin & Shmida 1993). Debido a que la variable exposición corresponde a una rosa de los vientos de ocho direcciones, cada perfil fisiográfico será confeccionado tomando como prioridad la orientación. Para ello, se deben analizar las tablas de tabulación proporcionadas por la aplicación del cruzamiento de variables.

RESULTADOS

El análisis de componente principal entregó como resultado que las bandas TM1, 2 y 3 reportan la información más provechosa. Por otra parte, por medio del análisis de las firmas espectrales realizado sobre las categorías de *A. araucana* con menor reflectividad, éste demostró que existe diferencia entre las categorías G1, G2, G3, G4 y G6, en cuanto al nivel de absorción y reflexión por parte de la cobertura de copa,

De la clasificación supervisada utilizada se definieron un total de 14 categorías dentro de las unidades temáticas. De estas categorías, siete correspondieron a bosques de *A. araucana* dominantes y sobre estas se centra el estudio fisiográfico (Tabla 1).

En la figura 6 se observan los mapas temáticos con las variables altitud, pendiente y exposición.

Con la finalidad de validar la clasificación se confeccionó la matriz de confusión. Se obtuvo una fiabilidad global de 89,5%. Lo anterior significa que un 89,5% de los píxeles fueron correctamente asignados a las categorías bosques de *A. araucana* y que corresponden a la realidad. El índice Kappa fue de 75,4% lo que indica que la clasificación efectuada es un 75,4 % mejor que una esperable al azar.

Las categorías se concentran en las orientaciones Norte, Oeste y Noroeste del parque, con una superficie de 4.754,1 ha, equivalente a 45,4 % respecto de la superficie total. Aquellas laderas con orientación Norte presentan sectores con bosquetes puros de *A. araucana* de carácter más reflectivo. La mayor poblacional se concentra en pendientes moderadas a fuertes con rangos entre 23° a 45° concentrando 4.318,9 ha, equivalente al 39,6 %. En sectores más abruptos y escarpados del parque con pendientes superiores a 45°

se observan bosques mixtos de *A. araucana*-*N. pumilio*, desarrollándose en lugares con relieve extremo, en la cual *N. pumilio* crece achaparrado y *A. araucana* con alturas irregulares. Las categorías se agruparon por rangos. A cada uno se le asignó un valor, el cual representa un determinado número de árboles por hectárea. Este número es representado en el perfil altitudinal fisiográfico para cada categoría (Fig. 7). Esta metodología se aplicó por la gran variedad topográfica del área de estudio. Se descartó ilustrar superficies inferiores a 1 ha, asignándole el valor cero. Para la asignación de los restantes rangos se consideraron las superficies mínimas y máximas y sus medias. Una vez definida la superficie se le asocia el número de árboles por hectárea correspondiente. Esta fue la base para la confección de los perfiles de altitud. A modo de ejemplo en la figuras 7 se aprecia un perfil fisiográfico para la exposición norte, que es importante puesto que recibe mayor radiación solar, condición que es representativa del centro-sur de Chile. A cada categoría arbórea de *A. araucana* se le asignó un color y la frecuencia de individuos de un determinado color representa la media de individuos por hectárea para ese color. A modo de ejemplo, si dentro del rango altitudinal 1.000-1.100 msnm se presentan cinco individuos de color amarillo, significa que en esa cota es posible encontrar como promedio 44,6 ha de dicha categoría en una orientación determinada y asociada a cierto rango de pendiente. Por lo tanto, por medio de los perfiles de altitud es posible conocer cual es la superficie de individuos por hectárea en relación a la exposición, así como también las pendientes predominantes en los cuales se establece cada categoría de *A. araucana*. En cuanto a la comunidad de *A. araucana* más reflectivas (G5 y G7), éstas dominan en los sectores mas abruptos del parque, en pendientes que oscilan desde fuertes a extremas. Estas concentran cerca el 29,0 % de la superficie. Los bosques de *A. araucana* más

absortivos G1, G2, G3, G4 y G6, se presentan en pendientes fuertes y extremas (75 %) pero a menor altitud (1150 a 1350 msnm). Es importante considerar que en estas últimas categorías se registraron ejemplares de *A. araucana* más altos las cuales superaban los 30 m, manteniendo un Diámetro Altura del Pecho (DAP) promedio superior a 50 cm, al contrario de las categorías G5 y G7 que registraron alturas máxima de 23 m y DAP menores a 50 cm.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las bandas TM1, 2 y 3 reportan la información más provechosa. Esto último se ajusta a lo planteado por Congalton *et al.* (1993) quienes la han utilizado para estudiar el bosque nativo. En la presente investigación se registraron diferencias en cuanto a la reflectividad y absortividad de las distintas categorías. Lo anterior es corroborado por Apan y Peterson (1994) quienes manifiestan que las imágenes satelitales, mediante la reflectividad son capaces de separar grupos de bosques naturales.

Se obtuvo una fiabilidad global de 89,5% y un índice Kappa de 75,4%, en este contexto Río (1997) plantea que cuanto mayor sea este índice mayor será el grado de fiabilidad para una clasificación determinada. Por lo tanto, el resultado obtenido se considera óptimo para bosque nativo.

De acuerdo con lo citado por May (1975) los factores físicos ambientales extremos generan heterogeneidad espacial, ocurriendo lo propio con disposición fisiográfica de los bosques. Lo mencionado anteriormente estaría relacionado con la presencia de formaciones de *A. araucana* más reflectivos presentes en el PNC, destacando en la presente

investigación hábitat con altitudes extremas, pendientes pronunciadas y exposiciones Norte ó Sur, en los cuales los árboles se desarrollan más ralos, estresados y achaparrados. Resultados similares han sido registrados por Daubenmire (1974) y Strahler (1974) quienes citan que los bosques cambian su estructura y disposición en altitud. Lo anterior coincide con lo planteado por Burns (1993), quien sostiene que los bosques en dicha exposición reciben mayor radiación y la vegetación tiende a ser más rala.

CONCLUSIONES

La incorporación del relieve al proceso de clasificación permite realizar una mejor descripción de los bosques de *A. araucana*. Se deduce que existe una relación fisiográfica entre la disposición y el relieve; y la mayor o menor densidad de individuos. La cartografía temática posibilita, en este caso, orientar el Plan de Manejo del P.N. Conguillío, para proteger y conservar los bosques más vulnerables a los efectos antropogénicos. La metodología de clasificación fisiográfica presentada puede servir de bases para ser replicada en otros Parques Nacionales, cuyas condiciones topográficas sean semejantes, como es el caso de la Cordillera de los Andes en América del Sur.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alzate, B. (2002). Introducción al procesamiento de imágenes digitales (En línea). Recuperado el 15 de marzo de 2014, [http:// www.iafe.uba.ar /tele/tele-recursos-e.htm](http://www.iafe.uba.ar/tele/tele-recursos-e.htm)).

- Apan, A. & J. Peterson. (1994). Land cover mapping for tropical reforestation planning using Landsat TM data: the case of mindoro, Phillippines 7th Australasian Remote Sensing Conference.
- Austin, M. & A. Shmida. (1993). Vegetation change along an altitudinal gradient on Mt. Hermon, Israel-no evidence for discrete communities. *JOURNAL OF ECOLOGY*, 81, 25-33.
- Bauer, M., A. Burk, P. Ek, S. Coppin, T. Lime, D. Walsh & W. Walters. (1995). Satellite inventory of Minnesota forest resources. *PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING*, 60(3), 275-285.
- Burns, B. (1993). Fire-induced Dynamics of *Araucaria araucana*-*Nothofagus antarctica* Forest in the Southern Andes. *JOURNAL OF BIOGEOGRAPHY*, 20, 669-685.
- Cabrera, A. & A. Willink. (1973). Biogeografía de América Latina. Organización de Estados Americanos, Serie Biología, Monografía.
- CONAF, (1985). Simposio. Flora nativa Arborea y Arbustiva de Chile amenazada de extinción. Simposio. Republica de Chile, Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal.
- Congalton, R., K. Green & J. Teply. (1993). Mapping Old Growth Forests on National Forest and Park Lands in the Pacific Northwest from Remotely Sensed Data. *PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING*, 59, 529-535.
- Daubenmire, R. (1974). Plants and Environment, Chaps. 3, The Walter Factor. Wiley, New York. En: Ecología. Ed: E. ODUM. Tercera Edición. University of Georgia, Georgia.

- Franklin, J., T. Logan, C.E. Woodcock & A.H. Strahler. (1986). Coniferus forest classification and Inventory using Landsat and Digital Terrain data. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, 24(1), 139-149.
- Fuentes (1994). ¿Qué Futuro Tienen Nuestros Bosques?. Hacia la Gestión Sustentable del Paisaje del Centro y Sur de Chile. 1era Edición. Ediciones Universidad católica de Chile. Santiago, Chile.
- Giwen, D.R (1994). Principies and practice of plant conservation, Ohio. Timber Press
- Krebs, C. (1985). Ecología. Estudio de la Distribución y la Abundancia (2da Edición). Instituto ecológico de Recursos Animales, Universidad de Columbia Británica.
- Lu D. (2005). Integration of vegetation inventory data and Landsat TM image for vegetation classification in the western Brazilian Amazon. *FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT*, 213, 369-383.
- May, R. (1975). Patterns of Species Abundante and Diversity. En: Ecología. Estudio de la Distribución y la Abundancia. Ed: C. Krebs. (2da. Ed.). Instituto ecológico de Recursos Animales, Universidad de Columbia Británica..
- Moreno, H. & G. Fuentealba. (1994). The May 17-19 1994 Llaima volcano eruption, southern Andes (38° 42'S-71° 44 W). *REVISTA GEOLÓGICA DE CHILE*, 21, 167-171.
- Moreno, H. & M. A. Parada. (1994). Esquema geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 39°00' y 41°30'S. Santiago. Primer Congreso Geológico Chileno.
- Odum, E. (1972). Ecología. (3era Ed.). Georgia: University of Georgia.
- Ojeda N., Sandoval V., Casanova J-L., Herrera M.A., Morales L., San Martín J., Espinosa A. & Soto H. (2011). Discriminación de bosques de araucaria (*Araucaria araucana*) en

- el Parque Nacional Conguillio, centro-sur de Chile, mediante datos Landsat TM. *BOSQUE*, 2(32), 19-31.
- Ojeda N., M. Alvear, M.A. Herrera, A. Lillo, F. Reyes & Soto H. (2012). Estudio de ecosistemas longevos de Araucaria en el Sur de Chile: Uso del satélite Landsat Thematic Mapper. Editorial Académica Española.
- Pinilla, C. (1995). Elementos de Teledetección. Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén, España.
- Rio, S. (1997). Métodos Estadísticos. En: Elementos de Teledetección. Ed: C. PINILLA. Dpto. De Ingeniería Cartográfica, Geodésia y Fotogrametría, España: Universidad de Jaén.
- Schmidthüsen, F. (1970). Die Granzen der Chilenische Vegetations Gabiete. Deutsches Geographan. En: Investigación y desarrollo forestal “Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile”. Ed: C. Donoso. Documento de Trabajo, CONAF, ONU, Chile.
- Smith, C & Ramirez. (1994). Criterios ecológicos para el manejo del bosque nativo. *AMBIENTE Y DESARROLLO*, 3, 64-71.
- Strahler, A. (1974). Geografía Física, Ed. Omega, Barcelona. En: Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología. MOPT. Ministerio de Obras Publicas y Transportes, Ed: Centro de Publicaciones Ministerio de Obras Públicas y Transporte, España.
- Veblen, T. (1982). Regeneration Patterns in Araucaria Forest in Chile, *JOURNAL OF BIOGEOGRAPHY*, 9, 11-28.
- Veblen, T.T., T. Kitzberger, B. Burns & A. Rebertus. (1996). Perturbaciones y dinámica de regeneración en bosques andinos del sur de Chile y Argentina. EN: Ecología de los

bosques nativos de Chile. ED: J. Armesto, C. Villagrán y M. Arroyo. Universidad de Chile, Santiago.

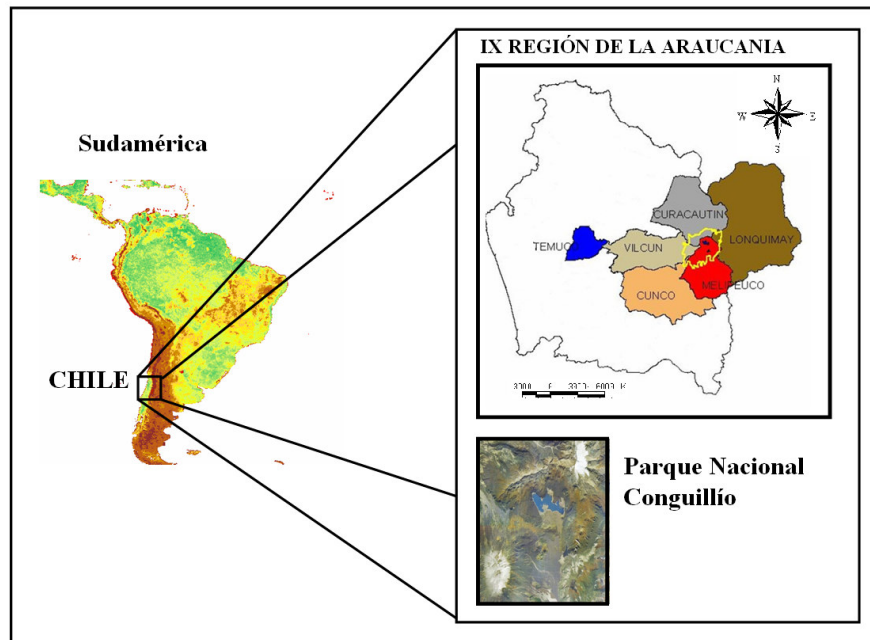


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

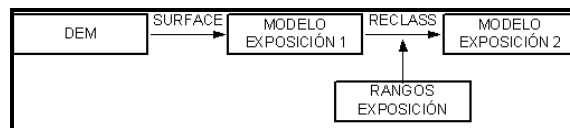


Figura 2. Esquema del modelo exposición.

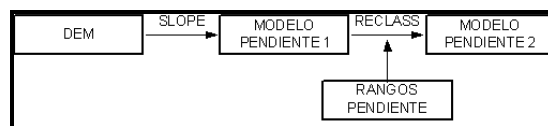


Figura 3. Esquema del modelo pendiente.

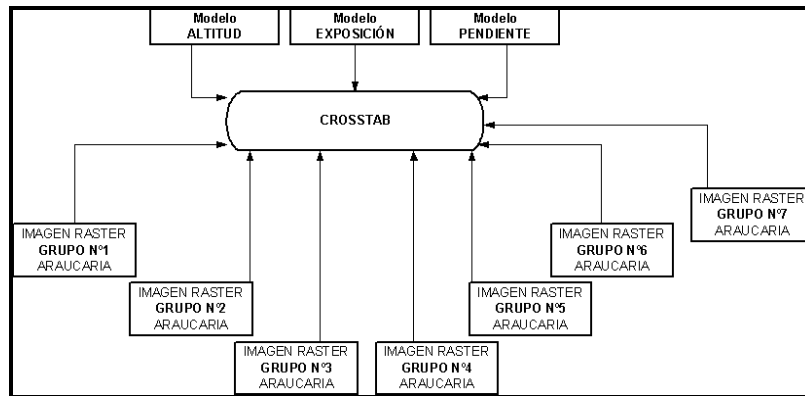


Figura 4. Modelo utilizado cruce de variables físicas, grupos de interés e imágenes modelo.

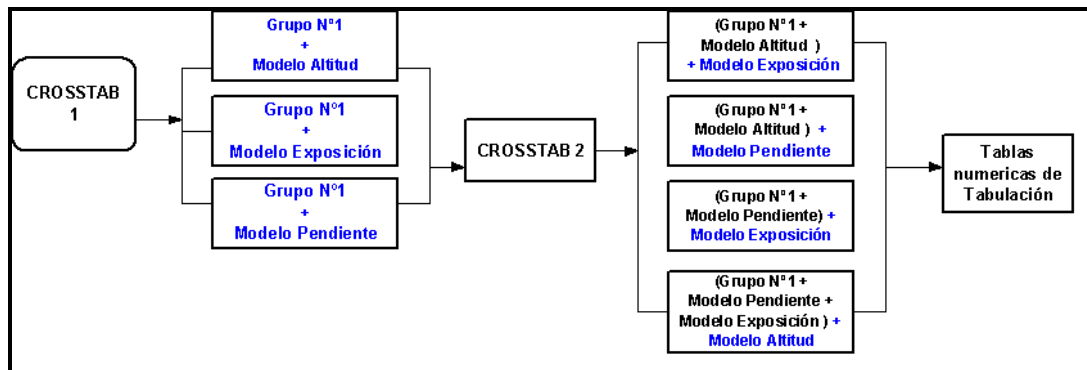
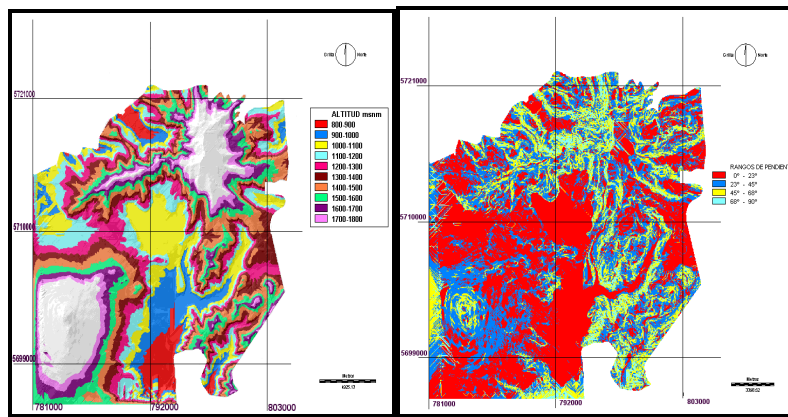
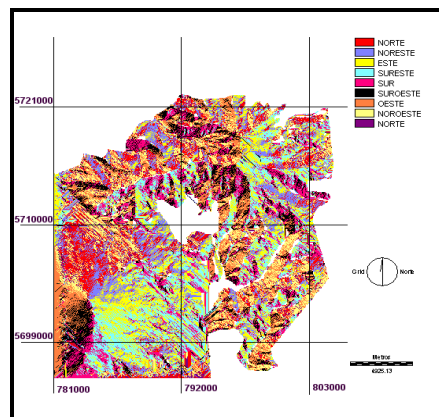


Figura 5. Modelo utilizado para el cruce de variables altitud, exposición y pendiente.



(a)

(b)



(c)

Figura 6. Imagen modelo para la variable altitud (a), pendiente (b) y exposición (c) en el Parque Nacional Conguillío.

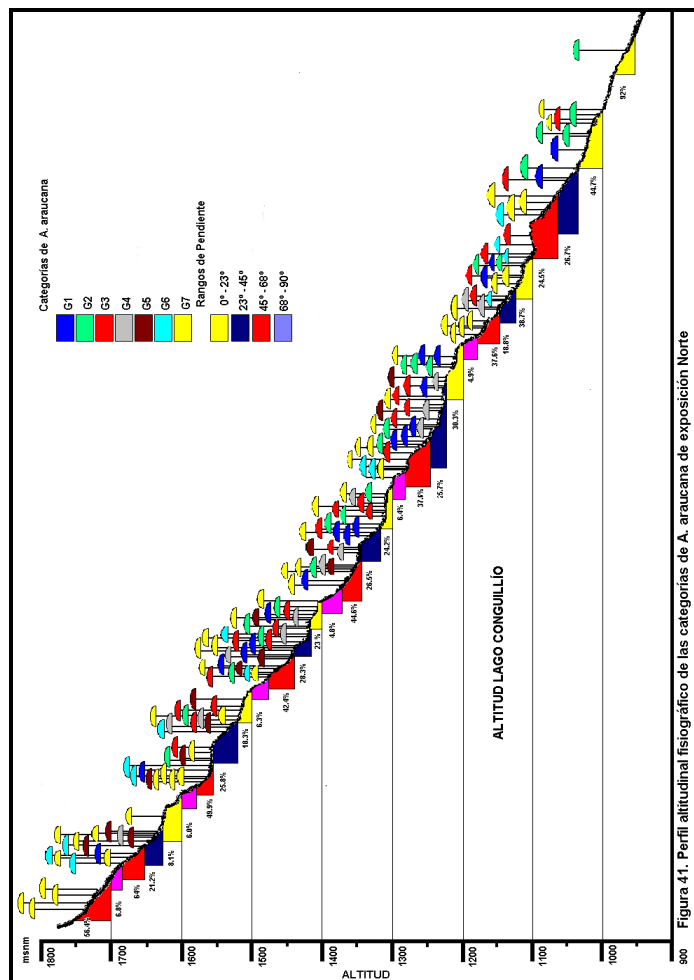


Figura 7. Perfil fisiográfico de la exposición Norte en el Parque Nacional Conguillío.

Tabla 1. Unidades temáticas y categorías derivadas de la clasificación supervisada.

Unidades temáticas	Categorías
Cuerpos de agua y sector de sombra	Lago Conguillío y sectores de sombra. Laguna Verde
Terrenos con nieve	Nieve y sectores rocosos.
Suelo volcánico	Suelo volcánico asociado con lapilli.
Bosques, renovales matorrales y otras sp.	Renovales de <i>N. dombeyi</i> y <i>N. pumilio</i> . B. Adulto de <i>N. dombeyi</i> asociado con <i>N. pumilio</i> y <i>A. araucana</i> . B. de <i>N. antarctica</i> achaparrado y arbóreo asociado con <i>A. araucana</i> y <i>N. dombeyi</i>
Bosque de Araucaria	B. de <i>A. araucana</i> absortivos asociado a Krummholz <i>N. pumilio</i> (G1) B. de <i>A. araucana</i> absortivos asociado con <i>N. dombeyi</i> (G2) B. de <i>A. araucana</i> absortivos y <i>N. dombeyi</i> asociado con <i>N. pumilio</i> (G3) B. de <i>A. araucana</i> absortivos y <i>N. pumilio</i> arbóreo de Altura (G4) B. de <i>A. araucana</i> reflectivos con <i>N. pumilio</i> arbóreo de altura (G5) B. de <i>A. araucana</i> absortivos asociado a arbóreo de Ñadi (G6) B. de <i>A. araucana</i> reflectivos y arbóreo de <i>N. antarctica</i> asociado a coirón de altura. (G7)

$$K = \frac{(N * \sum X_{ii}) - \sum (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - (\sum (X_{i+} * X_{+i}))} \quad (1)$$

X_{ii} : indica la coincidencia observada.

$X_{i+}X_{+i}$: (producto de marginales) la coincidencia esperada.

N : tamaño de la muestra.