

---

# VALORACIÓN DEL PAISAJE EN BOSQUES DE RENOVALES DE ROBLE-RAULÍ-COIGÜE

Yasna Rojas Ponce<sup>1</sup>; Joaquín Solana Gutiérrez<sup>2</sup>

## RESUMEN

El paisaje es un sistema complejo, de interés ecológico, ambiental, social y cultural, que se estructura por la interacción entre la naturaleza y la sociedad.

Se analiza el paisaje de renovales de Roble-Raulí-Coigüe de la comuna de Lanco, mediante el estudio de componentes territoriales (topografía, geomorfología y vegetación) y el establecimiento de un vector de valoración del paisaje. La metodología incluye el establecimiento de unidades homogéneas, a partir de variables físicas y productivas, mediante el análisis de componentes principales. Una vez definidas las unidades homogéneas, se analiza para cada una de ellas el comportamiento de las variables de producción y variables del entorno. Se calculan para las especies arbóreas índices de biodiversidad relacionados con la composición tales como Shannon, Margaleff, Menhinick y Berger-Parker, y relacionados con la estructura del bosque; para el caso de la estructura vertical se consideró el índice de estructura vertical de Shannon; para la estructura horizontal se usa la desviación típica del diámetro. Además se determinan indicadores que se relacionan con la fragmentación y estructura espacial de las unidades homogéneas.

A partir de esta información se construye un vector de valoración del paisaje que incluye valores de producción y biodiversidad, por medio de análisis de componentes del paisaje. A través de técnicas blandas de análisis decisional se obtiene la relación de preferencia de las muestras. Finalmente se entrega una valoración del paisaje de bosques de renovales para el caso descrito.

Palabras clave: Renovales Roble- Rauli-Coigüe, valoración del paisaje.

---

<sup>1</sup> Instituto Forestal, Sede Valdivia. Chile. Departamento Economía y Gestión Forestal, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, España. (Estudiante Doctorado). yrojas@infor.cl

<sup>2</sup> Departamento Economía y Gestión Forestal, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, España. jsolana@montes.upm.es

---

# VALUATION OF THE LANDSCAPE OF SECOND-GROWTH STANDS OF ROBLE-RAULÍ-COIGÜE

## SUMMARY

Landscape is a complex system structured by interaction between nature and society, and it is very important from ecological, environmental, social and cultural viewpoint.

The landscape of second-growth stands of "Roble-Rauli-Coigüe" located in commune of Lanco is analyzed by means of the territorial components study (topography, geomorphology, and vegetation) and the establishment of a landscape valuation vector. Forests of the case study are classified in homogenous units considering physics and productive variables through principal components analysis. After this, each unit is analyzed according two different characteristics: productive and environmental variables. Biodiversity indicators are calculated related to composition of trees such as Shannon, Margaleff, Menhinick, Berger-Parker, and related to vertical and horizontal structure (Shannon's vertical structure index and horizontal structure index based on dbh standard deviation). Furthermore, fragmentation and spatial structure indicators are calculated.

A valuation vector that incorporates production and biodiversity value is constructed. Preference relation of the samples is obtained through soft techniques for decision-making analysis. Finally, it is obtained a landscape valuation of second-growth stands of "Roble-Rauli-Coigüe".

Key words: Second-growth stands of Roble-Raulí-Coigüe, landscape valuation.

## INTRODUCCION

En Chile 3,6 millones de hectáreas de los bosques sin restricciones de producción corresponden a renovales, que son bosques de segundo crecimiento, de edades entre 40 y 80 años, con un gran potencial de crecimiento y dominados por las especies del género *Nothofagus*. Este recurso es de gran importancia, puesto que son bosques naturales que responden bien al manejo forestal y cuyas especies *Nothofagus* son de gran importancia económica.

Los bosques naturales, son esenciales para la obtención de madera y otros bienes, así como para la producción de una serie de servicios ecosistémicos, tal como la producción de agua, la conservación del suelo, preservación de la biodiversidad, fijación de carbono atmosférico para la regulación de cambios climáticos a nivel global y oportunidades para la recreación y el turismo. El manejo adecuado de los bosques naturales permite compatibilizar la producción maderera con la conservación o incremento de estos servicios

Los renovales de *Nothofagus* se describen como bosques puros, de relativamente baja diversidad de especies, característica dada por su estado sucesional juvenil y la alta competencia existente entre los árboles, que limita el desarrollo de doseles inferiores. Aun cuando los renovales presentan una apariencia más homogénea que el bosque adulto, la distribución y densidad del bosque exhiben variabilidad. Conocer en detalle tal variabilidad de su biodiversidad puede ser de gran ayuda para definir objetivos de gestión que consideren la conservación de la misma.

## OBJETIVOS

La finalidad de este trabajo es caracterizar los renovales desde el punto de vista de la biodiversidad, para finalmente establecer un vector de valor global que incluya tanto componentes de biodiversidad como de producción, para determinar las mejores situaciones a las cuales se puede aspirar como objetivo de gestión. Sus objetivos específicos son:

Analizar y establecer relaciones entre las variables medidas en el inventario forestal, para fijar las variables clasificatorias de unidades homogéneas dentro del área de estudio

Analizar la variación de distintos parámetros productivos dentro y entre las unidades homogéneas evaluados en el inventario (volumen, área basal, N° pies/ha)

Caracterizar la biodiversidad en renovales de Roble-Rauli-Coigüe

Determinar un vector de valoración que incluya aspectos de biodiversidad y producción.

## ANTECEDENTES GENERALES

Los bosques de *Nothofagus* que incluyen las especies rauli (*Nothofagus alpina*) y roble (*Nothofagus obliqua*), se distribuyen en Chile aproximadamente entre los 34 y 41° de latitud

Sur, ocupando amplias áreas en la Cordillera de los Andes y de la Costa. La especie coigüe (*Nothofagus dombeyi*) se distribuye desde los 35°S hasta la zona austral del país (INFOR, 1996). Estas tres especies tienen características de pioneras, lo que les permite ocupar el estrato superior por su rápido crecimiento inicial en altura. En consecuencia, los bosques de segundo crecimiento están dominados actualmente en su estrato superior por raulí, roble y coigüe. Los árboles de mayor tolerancia a la sombra que pertenecen al mismo tipo forestal, ocupan estratos intermedios y suprimidos de los rodales.

Al comparar renovales y bosques adultos se observa que los primeros son de composición y estructura mucho más simple, presentan menor variabilidad en la cantidad de especies y las clases diamétricas tienden a concentrarse en un rango definido. En general, la regeneración no es abundante, y en el caso del tipo forestal Roble-Rauli-Coigüe, los renovales jóvenes que están en proceso de establecimiento y alta competencia, no tienen regeneración de *Nothofagus*. Presentan además, la etapa de más rápido crecimiento en la formación de un bosque (Donoso, 1993; Donoso *et al.*, 1993).

Los renovales en consideración poseen la capacidad de colonizar rápidamente las áreas descubiertas del bosque, retoñando masivamente en combinación con la regeneración por semilla aportada por algunos individuos remanentes de la generación anterior. La participación de especies tolerantes es escasa y se desarrolla bajo este dosel formando un segundo estrato.

### **Dinámica de los Bosques de *Nothofagus* de la Zona Centro-Sur de Chile**

La composición y distribución de los renovales de *N. alpina* y *N. obliqua* depende fundamentalmente del tipo de suelo, clima, latitud y altitud, así como de la composición original del bosque, tipo y frecuencia de la intervención y de factores del azar (Puente *et al.*, 1979 cit. por Grosse y Quiroz, 1999). Su dinámica de regeneración estaría determinada por perturbaciones naturales de gran escala, como deslizamientos por sismos o caídas masiva por efectos del viento. En ausencia de factores exógenos, tales como terremotos y volcanismos, movimientos de glaciares, viento e incendios y herbivoría, prevalecerían los cambios autogénicos, dando paso a un proceso sucesional que favorecería a las especies tolerantes como tepa, mañío y trevo (Grosse y Quiroz, 1999).

Para los bosques de *Nothofagus* en los Andes valdivianos, Uebelhör (1984) citado por Grosse y Quiroz (1999) propuso un esquema del desarrollo sucesional. Este esquema muestra el desarrollo desde un bosque recién regenerado, pasando por distintas fases de desarrollo con distintas dominancias de las especies según la tolerancia, y con los posibles eventos exógenos que pueden alterar el orden sucesional del rodal.

### **Diversidad Biológica**

La diversidad biológica significa la variabilidad entre organismos vivos de todas las fuentes, incluye la diversidad dentro de las especies, entre especies y de ecosistemas (CBD, 1992). Este concepto es de gran complejidad, principalmente en lo que respecta a su cuantificación, de modo que en la práctica sólo algunos componentes de la biodiversidad pueden ser medidos.

Generalmente, se asume que la presencia de más diversidad es una condición positiva y deseable. Sin embargo, parece pertinente definir diversidad en el contexto del estudio y determinar la forma en que puede ser medida. Es importante considerar que biodiversidad no es sólo riqueza de especies, aun cuando, la mayor parte de las definiciones se enfocan en esto. Al respecto, Roman *et al.* (2001) señala que la biodiversidad debe, necesariamente, implicar la diversidad de hábitat sobre los cuales, individuos pertenecientes a unas especies dependen de sus propios nichos únicos que ocupan dentro del ecosistema. La importancia de la biodiversidad puede entenderse más fácilmente en términos de valores instrumentales, esto es, la utilidad que tienen las especies, ecosistemas y genes debido a la serie de bienes y servicios que proveen. Muchos de estos bienes y servicios tienen impactos económicos directos, pero algunos tales como valores ecológicos, espirituales y estéticos no los tienen. Además muchos conservacionistas también aceptan la idea que las especies y ecosistemas tienen valor intrínseco, independiente de su utilidad (Hunter, 2004).

Analizando la biodiversidad con un enfoque ecosistémico, Crow *et al.* (1994) identificaron un modelo que denominaron diversidad ecológica, el cual interrelaciona tres subgrupos de diversidad: (i) diversidad composicional, (ii) diversidad estructural y (iii) diversidad funcional. La diversidad composicional se refiere a los elementos fundamentales de la diversidad, las especies, así como la genética, y las comunidades y ecosistemas que proveen su contexto. La diversidad estructural se refiere a cómo los elementos de la diversidad se ordenan en relación a cada uno de los otros en el tiempo y el espacio, incluyendo el tamaño, forma y distribución de especies, hábitat y comunidades a través del paisaje y patrones de cambio sucesional. La diversidad funcional está caracterizada por procesos ecológicos, tales como ciclo de nutrientes, descomposición, flujo de energía y reflexiones a nivel trófico.

Cada uno de los tipos y niveles de biodiversidad puede ser expresado a una escala espacial y temporal. A escala espacial, es particularmente relevante el manejo, porque las estrategias que favorecen la diversidad local pueden resultar en una disminución en la diversidad regional (Crow, 1990 cit. por Roberts y Gilliam, 1995). En el caso de la escala temporal, también se pueden evaluar cambios en la biodiversidad. Por ejemplo, la diversidad composicional puede mostrar patrones distintivos durante los diferentes estados serales de la sucesión de acuerdo a cambios en las interacciones competitivas que pueden ser muy complejos (Oliver y Larson, 1990). Para complicar más la materia, un rodal forestal experimentará varios de estos diferentes procesos que afectan la diversidad al mismo tiempo (Roberts y Gilliam, 1995). El tipo de diversidad, nivel de organización biológica y escalas espaciales y temporales debe ser claramente especificado antes de intentar realizar cualquier valoración de la biodiversidad.

La diversidad de los ecosistemas forestales ha concitado gran atención, especialmente en los ecosistemas que son objetos de aprovechamiento. Sin duda, uno de los desafíos que debe enfrentar la gestión forestal es cómo se puede traducir la idea de biodiversidad a nivel de ecosistema en medidas concretas que propicien una mejor ordenación de los ecosistemas forestales (Kapos e Iremonger, 1998; McNeely, 2002).

Los cambios en la diversidad biológica a niveles tróficos individuales tienen una importancia variable y determinan procesos y estados diferentes, a menudo contradictorios en el ecosistema. Sistemas decadentes pueden presentar una alta diversidad de heterótrofos,



mientras que sistemas no decadentes pueden estar limitados a unas pocas especies de productores. Una baja diversidad biológica puede ser signo de vigorosos procesos de crecimiento (ecosistemas jóvenes, fases iniciales de sucesión), es decir, un fenómeno positivo; mientras que una alta diversidad biológica, por ejemplo de microorganismos, puede significar un predominio de procesos de deterioro o una decadencia del sistema, (Rykowski, 2002).

Los estudios realizados en bosques manejados muestran también que la biodiversidad no es exclusiva de los ecosistemas prístinos sino que también es un atributo de bosques intervenidos. En este sentido, las medidas de manejo en los bosques tienen que estar orientadas a evitar la homogenización de los bosques y en lo posible a generar una diversidad de condiciones y hábitat, más que a tener una gran cantidad de especies. Por lo tanto, la conservación de la biodiversidad está ligada más a la conservación de ecosistemas que de especies (Otero, 2004).

## MATERIAL Y MÉTODO

El área de estudio se localiza en la comuna de Lanco, Región de Los Ríos, Chile, en la superficie cubierta por renovales del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe. La superficie total de estos renovales en la comuna de Lanco es cercana a las 8.000 ha. La información base proviene del inventario forestal realizado por el proyecto FDI-CORFO "Desarrollo y aplicación de alternativas de manejo para el abastecimiento continuo de bienes y servicios" (INFOR, 2003; 2004) y del Catastro de los Recursos Vegetacionales de Chile (CONAF y CONAMA, 1999).

Se utiliza información proveniente de 219 parcelas evaluadas en el inventario del proyecto FDI-CORFO (INFOR, 2003; 2004), donde se registró gran cantidad de variables ambientales que fueron agrupadas en cinco categorías de acuerdo a su ámbito de medición y alcance para apoyo de medición a la planificación ecológica: variables del entorno, variables de la parcela, variables de árboles individuales, variables de suelo, variables de regeneración, variables de mortalidad. De los principales resultados del inventario se destaca que la media comunal para renovales de Roble-Raulí-Coigüe en volumen bruto en pie se estimó en 232,16 m<sup>3</sup>ssc/ha. La varianza estimada como una población finita para el volumen bruto corresponde a 147,99 lo que sitúa a la media poblacional en el intervalo  $232,16 \pm 23,84$  m<sup>3</sup>ssc/ha con un 95% de confianza. El error en porcentaje estimado corresponde a 10,2%. En área basal, ésta tiene un valor medio para los renovales de la comuna de 29,48 m<sup>2</sup>/ha, el valor promedio del número de árboles por hectárea corresponde a 864, el valor promedio del diámetro medio cuadrático (DMC) es de 20,8 cm y la altura promedio general es de 15,7 m.

## Análisis y Clasificación de la Información

Se clasificó la zona de estudio de acuerdo a una variable clasificatoria, la cual se determinó evaluando la correlación existente entre aquellas registradas en las parcelas, usando a las que caracterizan el suelo y la producción. En el caso de las unidades de manejo, se consideraron las variables de producción y ubicación geográfica. Además, se incluyó la variable Degradación, que es una descripción del grado de deterioro de la estructura y composición del bosque, para generar un código que pueda ser incorporado como variable categórica en los análisis de correlación. Una vez determinada las variables que tienen correlación, se eligió a las más representativas y no correlacionadas

entre sí, para realizar un análisis de componentes principales. El objetivo de esta selección es reducir la dimensionalidad del problema y determinar las variables principales que permiten interpretar la información, de tal manera que puedan ser utilizadas como variables clasificatorias del terreno. Se escogieron variables de importancia para el análisis de componentes principales, con el objeto de realizar la clasificación de la zona de estudio a través de análisis de cluster con el método K-means.

Se comprobó que la variable clasificatoria discrimina adecuadamente los grupos, realizándose análisis de varianza, ANOVA bajo normalidad de los datos y dóctimas de Kruskal-Wallis para datos sin distribución normal. Para diferenciar exactamente que grupos serán distintos, se utilizó la prueba U de Mann-Whitney que permite la comparación en pares de grupos.

## Análisis de Biodiversidad

El análisis de la biodiversidad se hizo a partir de la información recogida en el inventario del proyecto FDI-CORFO (INFOR, 2003; 2004). Se planteó analizarla con un enfoque ecosistémico como el propuesto por Crow *et al.* (1994), considerando un análisis de la biodiversidad composicional y estructural. La biodiversidad composicional se evaluó para las especies del estrato arbóreo y la diversidad estructural para la estructura horizontal y vertical de este mismo estrato. Considerando que el estudio describe un hábitat o comunidad en particular (Renovales de Roble-Rauli-Coigüe) se consideraron índices de biodiversidad alfa, que representen la riqueza de especies y la abundancia proporcional (Cuadro N° 1).

**Cuadro N° 1**  
**ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD**

Índice	Fórmula	Variables
Índice de Riqueza específica (S)	Riqueza = S	S número de especies N número total de individuos
Índice de Margaleff	$Margaleff = \frac{S - 1}{\ln N}$	
Índice de Menhinick	$Menhinick = \frac{S}{\sqrt{N}}$	
Índice de Berger - Parker	$Berger \quad Parker = \frac{N_{max}}{N}$	$N_{max}$ número de individuos en la especie más abundante
Índice de Shannon-Wiener (H)	$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln(P_i)$	$H'$ índice de Shannon de la unidad muestral "j" $P_i$ abundancia relativa de una especie en la unidad muestral $i = n_i/N$ $N_s$ número de especies presentes $n_s$ número de individuos de la especie "s" N número total de individuos
Índice de estructura horizontal (eh)	$eh = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$	n: número total de árboles en la parcela $d_i$ : diámetro de cada árbol en la parcela $\bar{d}$ diámetro medio de la parcela

<p>Índice de estructura vertical de Shannon</p>	$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^B \left[ p_{ij} \cdot \ln p_{ij} \right] \quad \text{si } p_{ij} > 0$ <p style="text-align: center;"><b>en caso contrario</b></p> $p_{ij} = \frac{n_{ij}}{N}$ $A_{rel} = \frac{A}{A_{max}} = \frac{A}{\ln(S * B)}$	<p>S número de especies B número de capas = 3 Capa 1: 100 – 80 % altura máxima Capa 2: 80 – 50 % altura máxima Capa 3: 50 – 0 % altura máxima <math>n_{ij}</math> número de árboles de la especie <math>i</math> en la capa <math>j</math> N número total de árboles en la parcela <math>A_{rel}</math> índice relativo de estructura vertical, permite establecer comparaciones entre parcelas</p>
---	---	---

## Vectores para Valoración de Biodiversidad

Para establecer una valoración de las parcelas en cuanto a su biodiversidad y producción se estableció un vector de valoración que incluya estos componentes. En el caso de la biodiversidad de especies, existen varios índices calculados, por lo que se procedió a seleccionar los más representativos para que formen parte del vector de valoración. Para esto, se realizó un análisis de correlación entre los índices de biodiversidad. Con la información de biodiversidad y de producción de cada una de las parcelas, se construyó un vector el cual esta compuesto de al menos los siguientes elementos: biodiversidad de especies, biodiversidad estructural horizontal, biodiversidad estructura vertical y producción. Cada parcela esta representada con un vector. Las parcelas fueron ordenadas según distintos métodos: método de valores estandarizados, método de las precedencias y método de distancia al punto ideal (Cuadro N° 2).

**Cuadro N° 2**  
**MÉTODOS DE "RANKING"**

Método	Fórmulas	Variables
Método de los valores estandarizados	$I_{est}^* = \frac{(I_i^* - I_{min}^*)}{(I_{max}^* - I_{min}^*)} \quad I I^* = \sum_{i=1}^n I_{est}^*$	<p><math>V_{est}</math> valor <math>i</math> estandarizado <math>V</math> valor de la alternativa <math>i</math> en objetivo <math>j</math> <math>V_{min}</math> valor mínimo para el objetivo <math>j</math> <math>V_{max}</math> valor máximo para el objetivo <math>j</math> <math>VV</math> valor del vector</p>
Método de las precedencias	$N_1 = \prod_{i=1}^n n_j \quad N_2 = \prod_{i=1}^n (m+1 - n_j)$	<p><math>n</math> número de orden que toma el valor del objetivo <math>j</math> <math>m</math> el valor máximo (en número de orden) de cualquier objetivo <math>j</math>. <math>n</math> número de objetivos (en este caso 5)</p>
Método de distancia al punto ideal	$I_i = \sqrt{\frac{A_i}{A_i + B_i}} \quad A_i = \sum_{j=1}^n \left( \frac{r_{ij} - r_{ic}}{S_j} \right)^2 \quad B_i = \sum_{j=1}^n r_{ij}$	<p><math>r_{ij}</math> valor de orden tomado por la alternativa <math>i</math> en el objetivo <math>j</math> <math>r_{ic}</math> valor tomado por el estándar del <math>j</math> objetivo S desviación estándar del <math>j</math> objetivo</p>

El método de valores estandarizados primero estandariza los valores que toman cada una de las alternativas de cada  $j$  objetivo. El valor del vector es igual a la sumatoria de los

valores estandarizados, a mayor valor mejor posición en el "ranking". En el método de las precedencias se establece primero un orden de los datos para cada  $j$  objetivo. Los cálculos se realizarán con el número de orden y en caso de existir empates en una posición, se calcula un orden medio entre todos los valores empatados. Valores más pequeños de  $N_j$ , indican que el valor precede a pocos valores potenciales. Valores más altos para  $N_j$  indican que es precedido por un alto número de valores potenciales. En el método de distancia al punto ideal se establecen dos distancias, una para el punto de menos fragilidad (mejor punto) y una para el punto de fragilidad más grande (peor punto). El primer paso del procedimiento consiste en ordenar el grado al cual los diferentes objetivos son alcanzados. El procedimiento es el mismo para el cálculo de la distancia al mejor punto y al peor punto; la diferencia está en el valor que toma el estándar, en el primer caso el mejor valor del objetivo  $j$  y en el segundo caso el peor valor del objetivo  $j$  (Martínez-Falero *et al.*, 1995).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Análisis y Clasificación de la Información

Los grados de correlación son bajos, excepto para las variables área basal y volumen (Coeficiente de Pearson = 0,838), que están muy relacionadas pues la forma de cálculo del volumen considera a la variable área basal. Por lo tanto, es posible utilizar sólo a una de ellas para clasificaciones posteriores. También en el caso de las variables de las unidades de manejo se destaca la correlación entre las variables altitud y pendiente (Coeficiente de Pearson = 0,403), que permite discriminar entre una de las dos variables para análisis posteriores. Se destaca el grado de asociación entre altitud y número de árboles por hectárea (Coef. Pearson = 0,416), indicando que a mayor altitud es posible encontrar más árboles por unidad de superficie, lo que puede ser atribuido a que, a mayor altitud existe más dificultad de acceso, lo que limita la posibilidad de intervenciones antrópicas que disminuyen la densidad.

Los resultados del análisis de componentes principales (Cuadro N° 3), muestran que las variables explicatorias más importantes se relacionan con un componente físico representado por altitud y pendiente, un componente de productividad del bosque (volumen y área basal), y un componente físico y estructural (vulnerabilidad: índice en función de características físicas del sitio; cobertura: densidad de copas). Con estos componentes se logra explicar un 68 % de la variabilidad de los datos originales.

**Cuadro N° 3**  
**VARIANZA TOTAL EXPLICADA**

Componente	Valores propios iniciales			Variables	Componente		
	Total	% de Varianza	%Acumulado de la varianza		1	2	3
1	1,895	27,068	27,068	Altitud	0,292	0,802	2,321E-02
2	1,726	24,659	51,727	Área Basal	0,942	-0,230	-0,141
3	1,143	16,333	68,060	Volumen	0,852	-0,403	9,039E-02
4	0,887	12,666	80,726	Cobertura	5,571E-02	-0,261	0,641
5	0,819	11,703	92,429	Pendiente	0,134	0,660	0,368
6	0,468	6,679	99,108	N/ha	0,387	0,575	-0,366
7	6,245E-02	0,892	100,000	Vulnerabilidad	0,160	0,182	0,660

La información del análisis de componentes principales indica que uno de los componentes importantes que explica la variabilidad de los datos es el componente físico representado por la altitud y la pendiente del terreno. Debido a la correlación de estas dos variables, se eligió a la altitud como variable clasificatoria de unidades homogéneas del terreno en estudio. En el sitio analizado la altitud varía entre los 71 y 799 metros sobre el nivel del mar (msnm). Con esta información se consideró una primera clasificación en 5 grupos de altitud, cuyos resultados se muestran en el Cuadro N° 4.

**Cuadro N° 4**  
**CENTRO DE CLUSTER FINAL PARA 5 CLASES DE ALTITUD**

Cluster	1	2	3	4	5	Total
Altitud (msnm)	138,3258	209,8858	302,1603	426,2367	643,8727	
N° casos	249	230	157	76	20	<b>732</b>

Los análisis de varianza se realizaron para las variables número de árboles por hectárea, área basal y volumen, y en todos ellos las diferencias entre grupos sólo se manifestaron al existir 3 clases de altitud y no 5; sin embargo, desde el punto de vista ecológico agrupar en tres categorías de altitud puede ser una clasificación demasiado amplia y es posible perder detalles en el análisis de la información. Además la altitud tiene un rango muy amplio y desequilibrado de valores, existiendo pocos sitios con altitudes cercanas al límite superior, esto se refleja en las pocas unidades que participan en la clase de altitud mayor. Al ser un número pequeño de unidades, resultan estadísticamente poco influyentes, pero desde el punto de vista ecológico, tener por separado las altitudes mayores en un solo grupo es más apropiado. De esta forma las cinco unidades homogéneas de paisaje se resumen en el Cuadro N° 5.

**Cuadro N° 5**  
**CARACTERIZACIÓN DE UNIDADES DE ANÁLISIS DE PAISAJE**

Clase altitud	Superficie	Altitud (m)	Árboles/ha (N°)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	Edad (años)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	H dom (m)
1	1.656	138	679,26	30,67	41	249,8	23,54
2	2.211	210	953,47	26,75	35	173,5	20,87
3	1.845	302	1.011,21	27,06	34	193,7	20,66
4	971	426	1.076,82	32,37	37	252,3	21,84
5	206	644	767,90	29,82	40	239,7	22,89
<b>Total</b>	<b>6.889</b>						

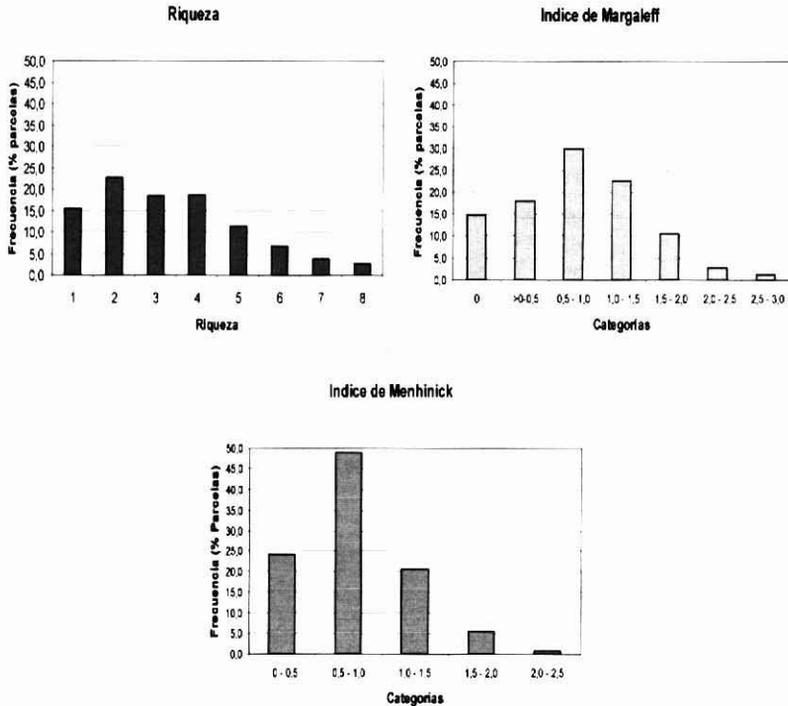
Existe una gran cantidad de información que describe el recurso en el área de estudio y aunque se le clasifica como un solo tipo vegetacional, renovales de Roble-Rauli-Coigüe, es posible dividirlo en diferentes clases o subtipos con el análisis estadístico de la información. En este sentido la altitud actúa como una buena variable clasificatoria. Aun cuando los análisis de varianza y análisis de independencia de grupos para las variables productivas del bosque (N° de árboles/ha, área basal y volumen) muestran que las diferencias entre grupos de altitud se generan con una clasificación en tres grupos, se ha optado por mantener la clasificación de la altitud en 5 clases.

## **Análisis de Biodiversidad**

### **Riqueza de Especies**

La riqueza específica de las parcelas se presenta resumida en categorías en la Figura N° 1, donde los valores más frecuentes presentes en las parcelas se encuentran entre 1 y 4

especies. La más abundante es el roble (*Nothofagus obliqua*), seguida en importancia por el avellano (*Gevuina avellana*), radial (*Lomatia hirsuta*) y lingue (*Persea lingue*). Los índices de Margaleff y Menhinick son muy sensibles al tamaño de la muestra y con sesgo hacia la riqueza, pues son medidas del número de especies de una unidad de muestreo definida, por lo cual los resultados son función de la riqueza muestral.



**Figura N° 1**  
**CATEGORÍAS DE ÍNDICE DE RIQUEZA, MARGALEFF Y MENHINICK DE ESPECIES ARBÓREAS**

### Abundancia Proporcional

Los valores del índice de Berger-Parker indican el grado de dominancia de una especie. A mayor valor del índice, mayor dominancia o menor diversidad. El valor máximo posible es 1. La Figura N° 2 muestra que existe una cantidad importante de parcelas con una valor igual a 1, lo que indica la presencia de una sola especie, y por tanto su dominancia; esta especie es *Nothofagus obliqua*. El índice de Shannon-Wiener relaciona la riqueza de especies y la abundancia de sus poblaciones referidas al total de la muestra como una estimación del total global, valor que es imposible de determinar. Al existir una sola especie, este índice entrega un valor de diversidad igual a 0, situación representada en casi un 15% de las parcelas (las mismas parcelas con índice Berger-Parker =1).

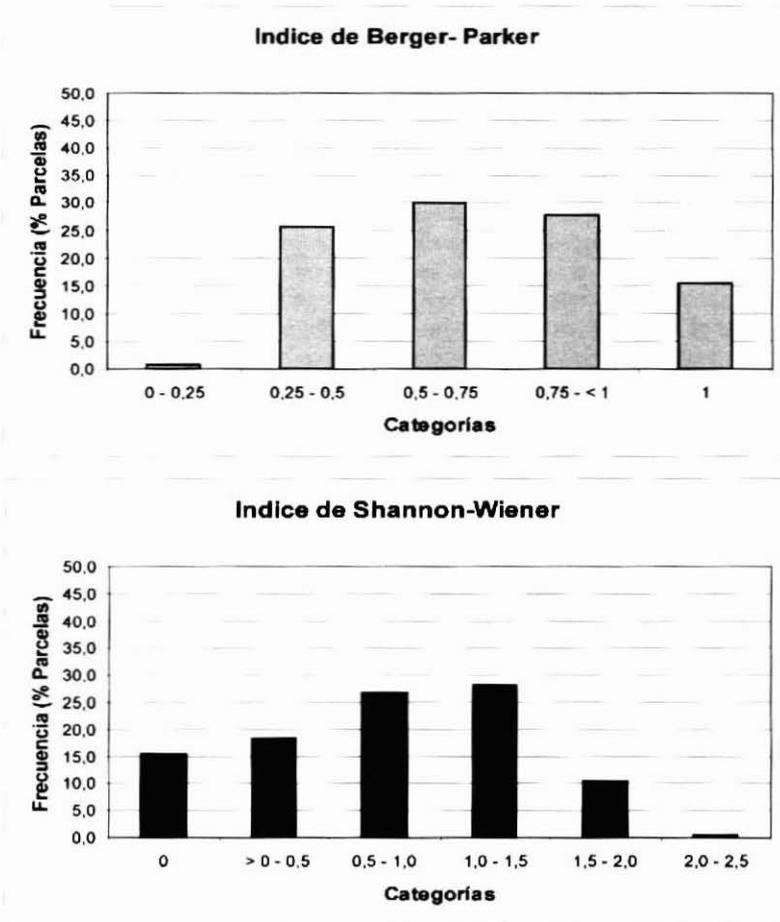
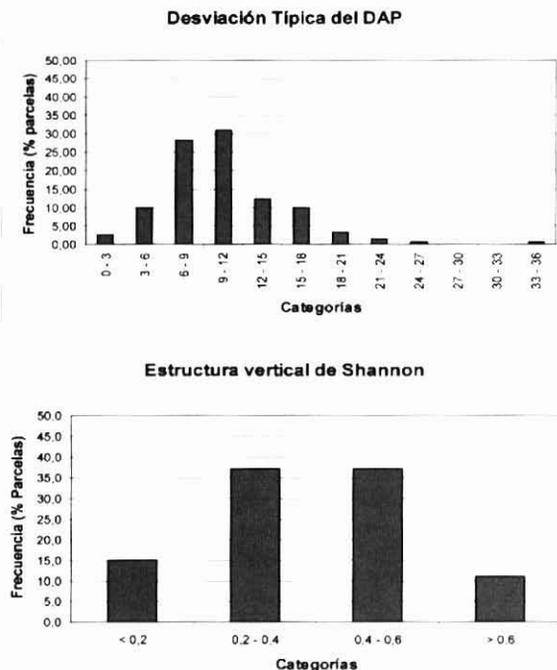


Figura N° 2

**CATEGORÍAS DE ÍNDICE DE BERGER-PARKER Y SHANNON-WIENER DE ESPECIES ARBÓREAS****Estructura Horizontal**

La desviación típica indica cuánto se desvían los valores del DAP respecto a su media. En términos del análisis de diversidad, a mayor desviación típica, mayor diversidad. En este caso más del 50% de las parcelas se encuentran entre 6 y 15 cm de desviación típica (Figura N° 3). Estos valores encuentran su explicación en la estructura coetánea que tiene este tipo de bosques, los que han crecido en fuerte competencia, y que se concentran en rango de clases diamétricas de poca amplitud. Son pocas las parcelas que presentan valores altos de desviación típica y estos valores se deben a la presencia de árboles con DAP muy superiores al promedio.



**Figura N° 3**  
**CATEGORÍAS DE DESVIACIÓN TÍPICA DEL DAP E ÍNDICE RELATIVO DE ESTRUCTURA VERTICAL DE SHANNON**

### Estratificación Vertical Arbórea

Para determinar los índices de estructura vertical de Shannon, se estimó la altura de todos los árboles de la parcela con una función de altura. En la Figura N° 3 se observan los rangos de valores del índice de estructura vertical. Este índice entrega valores más altos al tener una mayor cantidad de especies representadas en las tres clases de altura. Las parcelas que presentan los valores más altos, son aquellas que tienen un mayor número de especies, y que tienen distribuciones diamétricas amplias, que finalmente dan una mayor variación a las alturas, debido a la conocida relación entre H y DAP.

La caracterización de la biodiversidad actual de los renovales de Roble-Raulí-Coigüe refleja las características de crecimiento y estado sucesional de estos bosques, y coincide con la descripción general del recurso realizada por Grosse y Quiroz (1999), quienes afirman que se trata de bosques dominados por especies *Nothofagus*, en este caso *Nothofagus obliqua*, que tuvieron la capacidad de colonizar rápidamente áreas destruidas, donde la participación de especies tolerantes es escasa y se produce bajo el dosel, formando un segundo estrato.

Los indicadores de biodiversidad indican que no existe gran abundancia ni riqueza de

especies, lo que no significa que sea un ecosistema poco diverso. El análisis debe considerar la composición característica de este tipo de bosques, donde la especie dominante es roble, que es intolerante y que aparece acompañada en algunos casos por *Persea lingue* (lingue), especie de tolerancia media. Las especies restantes son tolerantes y constituyen acompañantes típicos en este tipo de bosques, destacándose entre ellas *Gevuina avellana* (avellano), *Luma apiculata* (arrayán) y *Aextoxicon punctatum* (olivillo).

Rycowski (2002) señala que una baja diversidad biológica puede ser signo de vigorosos procesos de crecimiento, tales como ecosistemas jóvenes o fases iniciales de sucesión, situación que se presentaría en los renovales en estudio. El análisis de la diversidad estructural, tanto horizontal como vertical, muestra un recurso con un comportamiento relativamente homogéneo, sin grandes valores que escapen a la media. Sin embargo, si se analiza sólo las parcelas que presentan valores extremos, éstas se caracterizan por presentar distribuciones diamétricas que tienen algunos árboles con DAP muy grandes y que podrían ser representantes de bosques antiguos, pues como lo señala la literatura, en situaciones de renovales es posible encontrar representantes de bosque remanentes de roble o coigüe o laurel, lingue, ulmo y olivillo (Veblen *et al.*, 1978 citado por Grosse y Quiroz, 1999; Donoso, 1993). Estos casos deben ser vistos como oportunidades en las opciones de manejo para aumentar la biodiversidad.

### Vectores de Valoración de Biodiversidad

Todos los métodos utilizados para la confección de "rankings" de biodiversidad (Cuadro N° 2) clasificaron en los dos primeros lugares a las mismas parcelas (1903 y 1262). Posteriormente en tercera posición la parcela 1212 fue clasificada por el método de las precedencias y el de distancia al punto ideal y distancia al peor punto.

El vector de valoración de biodiversidad se ve favorecido con valores altos de diversidad, lo que se obtiene con un mayor número de especies, que se encontrarían en las categorías 2, 3 y 4 del estado sucesional, mientras que las parcelas con rodales puros de *Nothofagus* (1), se presentan en posiciones inferiores. La parcela de esta categoría que se encuentra mejor "rankeada" se ubica en el puesto 11 y corresponde a la parcela 1391. Esta, aunque se clasifica como un rodal puro de *Nothofagus* (más del 75% de área basal corresponde a este género), también incluye otras especies acompañantes que permiten que obtenga valores medios de diversidad, un volumen de 442 m<sup>3</sup>/ha, una diversidad estructural horizontal de 15,7 cm y un valor de índice de estructura vertical de 0,58. Las parcelas que se encuentran en posiciones inferiores corresponden en su mayoría a la categoría de rodales puros de *Nothofagus* y presentan un bajo número de especies, en muchos casos solo una especie, con poca variabilidad en la estructura del bosque.

Es posible establecer un vector de valoración de biodiversidad y producción, sin embargo los resultados difieren según el método de ordenación escogido, aún así los primeros lugares son coincidentes, y la tendencia general es similar en todos los métodos (Cuadros N° 6 y 7). Ante la variedad de resultados de diversidad de las parcelas, el vector de valoración es una buena opción para unificar criterios y lograr una valoración objetiva.

**Cuadro N° 6**  
**“RANKING” DE MÉTODO DE VALORES ESTANDARIZADOS, MÉTODO DE LAS PRECEDENCIAS, DISTANCIA A PUNTO IDEAL Y DISTANCIA A PEOR PUNTO. 10 PRIMEROS PUESTOS SEGÚN MÉTODO DE PRECEDENCIAS**

Parcela	Valores estandarizados	Precedencia	Distancia a mejor punto	Distancia a peor punto	Clasificación
1903	1	1	1	1	4
1262	2	2	2	2	3
1212	7	3	3	3	2
783	8	4	5	7	2
913	3	5	11	6	4
781	11	6	4	9	2
752	6	7	8	8	2
942	14	8	6	12	2
1261	4	9	16	5	3
2242	15	10	9	13	3

**Cuadro N° 7**  
**ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD EN LAS PARCELAS QUE OCUPAN LOS 10 PRIMEROS PUESTOS SEGÚN MÉTODO DE PRECEDENCIAS**

Parcela	Riqueza	Margaleff	Menhinick	Berger-Parker	Shannon	Desviación típica DAP	Estructura vertical	Estructura vertical relativa
1903	8	2,34	1,79	0,30	1,88	34,63	2,28	0,67
1262	7	1,97	1,53	0,38	1,72	23,36	2,20	0,65
1212	6	1,36	0,96	0,38	1,40	18,14	1,99	0,58
783	5	1,31	1,09	0,48	1,30	16,20	2,04	0,60
913	8	2,02	1,41	0,50	1,59	11,41	2,38	0,70
781	5	1,36	1,15	0,32	1,46	15,65	1,98	0,58
752	7	1,65	1,14	0,45	1,46	11,48	2,13	0,63
942	5	1,24	1,00	0,40	1,39	15,99	1,90	0,56
1261	8	2,52	2,00	0,38	1,84	14,01	2,27	0,67
2242	6	1,44	1,06	0,44	1,37	12,58	2,21	0,65

## CONCLUSIONES

La altitud es una variable clasificatoria adecuada. Los análisis de varianza y de independencia de grupos para las variables productivas del bosque (Nº de árboles/ha, área basal y volumen) muestran que las diferencias más significativas entre grupos de altitud se producen con una clasificación en tres niveles. Sin embargo, mantener una mayor cantidad de niveles permite captar la variabilidad ecológica necesaria para otros análisis.

Los valores de los índices de diversidad composicional y estructural muestran un recurso relativamente homogéneo, que coincide con su estado de desarrollo. La diversidad composicional muestra que el número de especies se concentra en valores de riqueza específica

que fluctúan entre 1 y 4. A pesar de la homogeneidad aparente en los valores de índices de biodiversidad, las especies tolerantes que acompañan a roble se distribuyen heterogéneamente en el territorio.

La diversidad estructural horizontal y vertical es relativamente homogénea, concentrándose en ciertos valores que también son característicos de bosques jóvenes. Las estructuras que muestran mayor diversidad, se deben a la presencia de árboles de bosques adultos antiguos, que generan un efecto de mayor amplitud diamétrica.

Es posible establecer un vector de valoración de biodiversidad y producción, sin embargo, los resultados difieren según el método de ordenamiento ("*ranking*") escogido: los primeros lugares son coincidentes, y la tendencia general es similar en todos los métodos. Un vector de valoración se presenta como una opción adecuada para unificar criterios y lograr una valoración objetiva.

El resultado final de la valoración con un vector que incluye componentes de biodiversidad y producción muestra en los primeros lugares a parcelas con mayor cantidad de especies, altos valores de diversidad estructural vertical y horizontal y volúmenes también altos.

El cálculo de un vector de valoración que incluye varios componentes de biodiversidad y producción permite tener una posibilidad de establecer metas de gestión en el recurso. De esta manera, es posible determinar objetivos de manejo para mantener altos valores de biodiversidad, aspirando a las condiciones de los vectores mejor "*rankeados*" y por otra parte, conocer las situaciones que son menos deseables en términos de la conservación de la biodiversidad forestal.

## REFERENCIAS

**CBD (Convention on Biological Diversity). 1992.** Texto del Convenio sobre la Biodiversidad biológica. P: 226 – 247. Naciones Unidas. En: <http://www.biodiv.org/doc/legal/cbd-un-es.pdf>

**CONAF-CONAMA. 1999.** Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile: Informe Nacional con variables ambientales. Proyecto CONAF/CONAMA/BIRF. 89 p.

**Crow, T.; Haney, A. y Waller, D. 1994.** Report on the scientific roundtable on biological diversity convened by the Chequamegon and Nicolet National Forests. General Technical Report NC-166. USDA Forest Service. North Central Forest Experiment Station, Saint Paul, Minnesota, USA. 55 p.

**Donoso, C. 1993.** Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 479 p.

**Donoso, P.; Donoso, C. y Sandoval, V. 1993.** Caracterización y crecimiento de renovales de roble y raulí en su distribución latitudinal en Chile. *Bosque* 14(2):35–56.

**Grosse H. y Quiroz, I. 1999.** Silvicultura de los bosques de segundo crecimiento de roble, raulí y coigüe en la región centro-sur de Chile. En: Lara, A. y Donoso, C. (editores). Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Pp: 95–128.

**Hunter, M. 2004.** Biological diversity. In: Hunter, M (Ed.). *Maintaining biodiversity in Forest Ecosystems*. Pp: 3-21.

**INFOR. 1996.** Actualización bosque nativo VIII a X Región, extracto de resultados del Informe Final. Santiago, Chile. CORFO – INFOR. 20 p.

**INFOR. 2003.** Desarrollo y aplicación de alternativas de manejo para el abastecimiento continuo de bienes y servicios en la Comuna de Lanco. Proyecto FDI-CORFO. 57 p.

**INFOR. 2004.** Caracterización productiva de los recursos forestales nativos de las Regiones IX y X. Informe Final. Proyecto FDI-CORFO.

**Kapos, V. and Iremonger, S. 1998.** Achieving global and regional perspectives on forest biodiversity and conservation. In: Bachmann, P.; Köhl, M. and Päivinen, R. (Ed.). *Assesment of biodiversity for Improved Forest Planning*. Kluwer Academic Publishers. Pp: 3-13.

**Martínez-Falero, E.; Cazorla, A. and Solana, J. 1995.** Scaling Methods. In: Martínez-Falero, E. y González-Alonso, S. (Ed.). *Quantitative techniques in landscape planning*. 274 p.

**McNeely, J.A. 2002.** La biodiversidad forestal a nivel de ecosistema: ¿cuál es el lugar de la población? *Unasylya*. 209(53):10-15.

**Oliver, C. and Larson, B. 1990.** *Forest stands dynamics*. McGraw-Hill, New York, USA. 467 p.

**Otero, L. 2004.** Conservación de la biodiversidad y bosques. En: Simposio Internacional IUFRO. Rauli, riqueza de los bosques templados: silvicultura, genética e industria. Valdivia, Chile. 9 p.

**Roberts, M. and Gilliam, F. 1995.** Patterns and mechanisms of plant diversity in forested ecosystems: Implications for forest management. *Ecological applications*. 5 (4): 969 – 977.

**Roman, G.; Emerson, L. and Faiweather, K. 2001.** Forest fragmentation and biodiversity conservation: Cause study of Costa Rica and Vancouver Island. *ENVR* 400. 122 p.

**Rykowski, K. 2002.** La conservación de la diversidad biológica como elemento de la gestión forestal sostenible: normas y práctica en Polonia. *Unasylya* 209(53):16-24.