

# PREDICCIÓN DEL DIÁMETRO NORMAL DE INDIVIDUOS DE PINO INSIGNE USANDO ATRIBUTOS LOCALES DE IMÁGENES AÉREAS DIGITALES

Patricio Corvalán V. y Jaime Hernández P.  
Depto. Manejo de Recursos Forestales, U. de Chile  
Casilla 9206, La Pintana, Santiago  
pcorvala@abello.dic.uchile.cl - jhernand@abello.dic.uchile.cl

## Resumen

Se relacionó el D.A.P. de árboles individuales, medidos en terreno con variables independientes obtenidas a partir del procesamiento digital de fotografías aéreas a color escaneadas, escala 1:5.000. Se construyó un modelo de regresión lineal múltiple, a partir de árboles provenientes de dos áreas de un mismo rodal de pino insigne manejado, con densidad final de 150 árboles por hectárea. Las variables independientes significativas correspondieron al área y el perímetro de polígonos cerrados de igual nivel digital obtenidos de la imagen. Se utilizaron como predictores los polígonos superiores significativos de las cuentas digitales de la copa. El modelo final presentó un coeficiente de correlación de 0,77 y un error estándar de 2,86 cm. Se concluyó que es posible encontrar correlaciones significativas entre variables dendrométricas y su información digital proveniente de fotografías aéreas. Los errores asociados a la regresión se explican, en parte, debido a condiciones locales de luminosidad de la copa debido a situaciones particulares de densidad y competencia.

**Palabras claves:** *Procesamiento digital, fotografías aéreas, estimación D.A.P.*

## Abstract

The individual d.b.h., from field measurements, was related to independent variables extracted from scanned aerial color photographs, scale 1:5,000. Using the information from two clusters of trees in the same stand, under management with final density of 150 trees per ha, a multiple linear model was tested. The significant predictive variables were the area and perimeter of closed polygons formed by image thresholding. The model had an correlation coefficient equal to 0.77 and an standard error equal to 2.86 cm. It was concluded that exist a significant correlation between dendrometrics variables and its related digital aerial descriptors. The errors in the model could be explained because the local conditions in the crown brightness which are related to specific density and competition situations.

**Keywords:** *Image processing, aerial photographs, d.b.h estimation*

## 1. Introducción

La estimación de volúmenes de madera comercial en pequeñas áreas de cosecha, ligadas al problema de la planificación y optimización de esquemas de trozado "en línea", es un problema no resuelto (Corvalán y Gouet, 1995a). Los inventarios tradicionales son habitualmente diseñados para obtener estimaciones del volumen total poblacional con niveles de confiabilidad estadísticos que no tienen porqué necesariamente ser aplicables a pequeñas áreas de esta población. Estudios de variabilidad en la producción diaria de rollizos sobre canchas de acopio y trozado en bosque, indicaron fuertes variaciones espaciales explicadas por factores ambientales, de manejo y cambios de demanda en la producción diaria (Corvalán y Gouet, 1995b). De este estudio se dedujo la necesidad de aprovechar las correlaciones espaciales para el procesamiento de los inventarios forestales con el objeto de permitir hacer estimaciones locales (Corvalán y Gouet, 1995a). La modelación de la dependencia espacial es un tema que ha sido abordado por varios autores mediante técnicas geoestadísticas, especialmente a través de kriging (Samra, Gill y Bhatia, 1989; Höck, Payn y Shirley, 1993; Corvalán, Gouet y Reyes, 1998) lo cual permite hacer estimaciones locales con medidas de confiabilidad. Sin embargo, estas estimaciones son fuertemente

dependientes del modelo de variación continua subyacente, el cual no es fácil de obtener. Estos modelos son útiles para detectar zonas de producción, cuya superficie excede las dimensiones requeridas para la planificación de cosecha diaria. Una buena aproximación para mejorar las estimaciones locales es el uso de información proveniente de sensores remotos, los cuales pueden ser utilizados como variables auxiliares en la estimación local de volumen ya sea integrándolos en la interpolación local como cokriging (Matheron, 1963; Cressie, 1993) o como estimaciones combinadas entre kriging e información digital (Holmgreen y Thuresson, 1997). La información proveniente de sensores remotos asegura el uso de información continua en el espacio sin interpolaciones a partir de datos puntuales (Lillesand y Kiefer, 1994).

En tratamiento digital de imágenes con aplicaciones forestales a nivel de árboles individuales, se han seguido varios enfoques. El primero, - el más tradicional - utiliza la información de una o varias bandas del espectro electromagnético como variables predictoras de algún parámetro descriptivo del árbol ( Baulies y Pons, 1995; Cohen y Spies, 1992). Otro enfoque, se ha centrado en las correlaciones del rango de variogramas experimentales regularizados con el tamaño medio de los objetos de la imagen, que en el caso de tratarse de cobertura de bosques, corresponde al tamaño medio de la copa (Cohen, Spies y Bradshaw, 1990; Hernández, 1999; St-Onge y Cavayas, 1995). Un tercer enfoque busca la identificación de árboles a través de la delimitación de sus copas basados en la aplicación de filtros estadísticos y morfológicos (Fournier, Edwards y Eldridge, 1995; Gougeon, 1995a; Gougeon, 1995b; Zheng, Gong y Strome, 1995).

Las proposiciones anteriores consideran a la imagen digital como la "entrada" en el proceso de extracción de información cuantitativa del bosque, sin embargo, existe la posibilidad de concentrar el análisis en los procesos y condiciones que determinaron la formación de dicha imagen, es decir que se la considera como una "salida" (Gerard y North, 1997 ; Yang y Prince, 1997 ) . Este cuarto enfoque involucra la modelación de la geometría tridimensional de las copas , la transferencia de luminosidad a través del dosel, las interacciones entre la luz, la vegetación y el suelo, y la variación de los ángulos de incidencia de la energía radiante y de observación. Estos modelos pueden ser invertidos y recuperar los parámetros descriptivos de la vegetación.

El problema de la identificación y mensura de atributos dendrométricos por medio de imágenes digitales es un tema complejo por sí mismo, lo cual implica que ninguna aproximación - per se - arrojará una solución completa, más bien los métodos son complementarios.

En este trabajo se asume que los esfuerzos que se realizan en la actualidad por identificar y aislar copas de árboles serán exitosos y se aborda directamente el tema de relacionar atributos de la imagen con el D.A.P. de árboles, ya que de no existir relaciones significativas para la modelación no se tiene una aplicación clara en la estimación local de volúmenes. De esta forma el objetivo del trabajo es cuantificar la correlación entre el tamaño real del árbol y las cuentas digitales que lo representan en una imagen.

## **2.-Material y Método.**

Se utilizó una fotografía aérea (figura 1) que contenía el rodal bajo estudio, perteneciente al predio Herrera, de propiedad de la empresa forestal Bosques Arauco S.A., VIII Región. La fotografía fue tomada a mediodía del mes de Julio de 1997. El rodal contenía ensayos de densidades variables de *Pinus radiata* D. Don. De estos ensayos se tomó información de dos parcelas permanentes con densidad final de 150 árboles por hectárea. Se trabajo con un total de 27 árboles, 11 de la parcela N°6 (árbol N° 2 sin registro de D.A.P.) y 16 de la parcela 10.

De este rodal se obtuvo información de dos tipos: Mediciones de terreno, correspondientes a variables dendrométricas de árboles referidos a un sistema arbitrario de coordenadas polares, y mediciones sobre la imagen digitalizada en escaner HP Scanjet 4c con una resolución espacial del orden de 20 centímetros.

## 2.1. - Datos de terreno

Previo a la toma de las fotografías aéreas, se marcó en terreno puntos notables - con cal -, en la vecindad de las parcelas de medición, con el objetivo de facilitar su identificación posterior. En cada parcela se numeró y registró la posición de la base de cada árbol y la proyección de sus radios de copa viva sobre el suelo cada 45° a partir del azimut 0°. Con esta información se procedió a replantar la posición de los árboles a una escala 1:250, como se muestra en la figura 2.

La información del D.A.P. fue obtenida de la base de datos de Bosques Arauco S.A. Para ello se utilizaron los números de identificación previamente existentes en cada fuste.

Asumiendo que existe correspondencia entre la distribución espacial 2D de la posición de base de los árboles en terreno con la distribución espacial 2D de las copas se procedió a la identificación de las zonas - píxeles de mayores niveles digitales locales - más brillantes de cada árbol. Esta identificación es modelable y repetible a través de algoritmos de análisis de máximos locales.

## 2.2.-Tratamiento digital de las imágenes y procesamiento de la información.

*Obtención y preparación de la imagen.* Las fotografías aéreas fueron obtenidas en un escáner HP Scanjet 4c , con resolución aproximada de 20 cm por pixel y almacenadas en formato TIFF. Para extraer la información relevante de la imagen en una cuenta digital única, se calculó la imagen del primer componente principal de las bandas originales: rojo, verde y azul, que explicó el 96 % de la variación total.

*Corrección geométrica de la imagen.* Se corrigió la cobertura vectorial -formato ArcView 3.0a- con la imagen procesada y se efectuó una corrección geométrica utilizando 12 puntos de control en la vecindad del rodal. Se utilizó un ajuste lineal y un remuestreo al vecino más cercano. Esta imagen será referida como imagen base.

*Cultivo de imágenes locales.* Sobre la imagen base se cultivaron dos ventanas que contenían las dos parcelas de muestreo.

*Corregistro de la información de terreno y las imágenes cultivadas.* Se efectuó una georeferenciación arbitraria a un sistema cartesiano [x,y] en metros, común para la imagen y la información de las parcelas, lo cual permitió superponer la posición de la base y la copa de un mismo árbol en cada parcela (Figura 3).



Figura 1: Fotografía aérea escaneada escala original 1: 5.000, tomada con cámara Hasselblad, con lente de 502 mm y negativo de 6x6 cm.

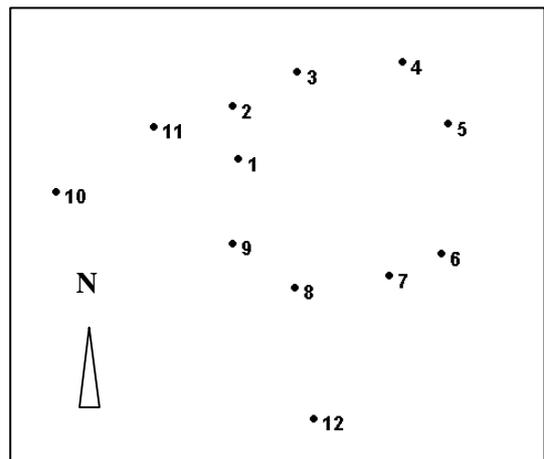


Figura 2: Croquis de ubicación de la posición de la base de los árboles de la parcela N° 6.

*Construcción de contornos de nivel.* Un supuesto importante para la estimación del D.A.P. de los árboles, es que sus niveles digitales (ND) en la copa son proporcionales al tamaño del árbol. Cada copa puede ser definida como un agregado de píxeles de distinto ND y que tienen una textura típica: una zona brillante (ápice) - con altos ND y baja frecuencia -, una zona intermedia con ND más bajos y alta frecuencia, y una zona de borde - con bajos ND y menor frecuencia (Corvalán, Gouet y Rath, 1998). Del histograma acumulado de ND de cada imagen cultivada se definió los valores correspondientes a los percentiles: 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90% y 95%.

Utilizando dichos valores como umbrales se transformó las imágenes en rasters binarios -0 para píxeles bajo el valor umbral y 1 para el resto-. Los polígonos resultantes fueron vectorizados y calculada su área y perímetro, además de la suma total de ND contenidos en cada una de ellos (Figura 4).

*Identificación de los píxeles más brillantes de la copa de cada árbol.* Se identificó el píxel más brillante de la copa de cada árbol y se registró en una cobertura vectorial de puntos.

*Selección de contornos.* Para cada árbol se seleccionaron los tres primeros polígonos cerrados que contuviesen al punto más brillante de la copa.

*Modelación.* Dado el carácter exploratorio de este trabajo se optó por utilizar el modelo más simple que permitiera conseguir un predictor significativo del D.A.P. Con la información de los polígonos y de sus árboles asociados, se construyó la tabla de datos que se usó en la modelación. La forma general del modelo propuesto se observa en la ecuación [1].

$$\hat{D}_k = b_0 + \sum_{i=1}^L b_i V_{jk} + \xi \quad [1]$$

Donde,  $\hat{D}_k$  = D.A.P. del árbol  $k$ .

$V_j$  = variable descriptiva del polígono (área, perímetro y suma total de ND) correspondiente al percentil  $j$  (65%, 70%, ..., 95%) asociado al árbol  $k$ .

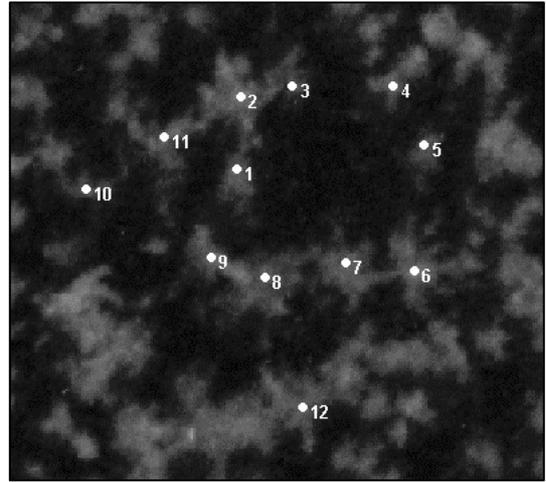


Figura 3: Imagen cultivada correspondiente a la parcela N° 6. La cobertura de puntos superpuesta, muestra la posición de la base de los árboles y su número de indentificación.

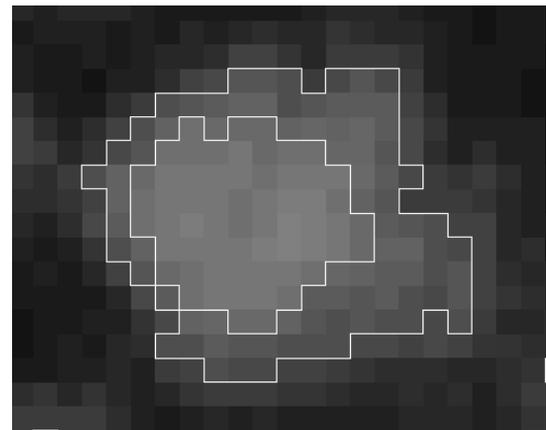


Figura 4: Polígonos asociados al árbol 9, parcela 10, correspondientes a los valores umbrales de 75 % (externo) y 95% (interno).

### 3.- Resultados

3.1. *Correlaciones parciales.* En la Tabla 1 se encuentran las correlaciones parciales ente todas las variables de la ecuación [1].

	<i>DAP</i>	<i>A1</i>	<i>P1</i>	<i>T1</i>	<i>A2</i>	<i>P2</i>	<i>T2</i>	<i>A3</i>	<i>P3</i>	<i>T3</i>
<i>DAP</i>	1.00	0.64	0.61	0.64	0.53	0.42	0.55	-0.03	0.00	-0.01
<i>A1</i>	0.64	1.00	0.96	1.00	0.89	0.78	0.91	0.16	0.11	0.19
<i>P1</i>	0.61	0.96	1.00	0.95	0.90	0.81	0.91	0.15	0.10	0.17
<i>T1</i>	0.64	1.00	0.95	1.00	0.89	0.77	0.92	0.16	0.11	0.19
<i>A2</i>	0.53	0.89	0.90	0.89	1.00	0.96	0.99	0.40	0.35	0.41
<i>P2</i>	0.42	0.78	0.81	0.77	0.96	1.00	0.94	0.50	0.47	0.50
<i>T2</i>	0.55	0.91	0.91	0.92	0.99	0.94	1.00	0.37	0.32	0.39
<i>A3</i>	-0.03	0.16	0.15	0.16	0.40	0.50	0.37	1.00	0.98	1.00
<i>P3</i>	0.00	0.11	0.10	0.11	0.35	0.47	0.32	0.98	1.00	0.97
<i>T3</i>	-0.01	0.19	0.17	0.19	0.41	0.50	0.39	1.00	0.97	1.00

Tabla 1: Correlaciones parciales entre las variables descriptoras de los polígonos y el D.A.P. *A<sub>i</sub>*, *P<sub>i</sub>*, *T<sub>i</sub>* indican el área, el perímetro y la suma total de ND, respectivamente, de los primeros tres polígonos cerrados que contenían a los píxeles más brillantes de cada copa (*i*=1,2 y 3).

3.2. *Ajuste del modelo.* Se inspeccionaron diversas combinaciones de variables predictoras y se seleccionó aquellas que reportaron niveles significativos de la relación lineal con el D.A.P. Por otra parte, se optó por incluir aquellas variables que tuviesen bajas correlaciones parciales entre sí (tabla 1). El ajuste final seleccionado se presenta en la tabla 2. El coeficiente de correlación fue de 0,77 y el error estándar de 2,8 cm.

	<i>B</i>	<i>Error estándar de B</i>	<i>t(22)</i>	<i>p-level</i>
<i>Intercepto</i>	38.60	1.31	29.38	0.00
<i>A2</i>	0.12	0.03	3.66	0.00
<i>P2</i>	-0.13	0.05	-2.57	0.02
<i>A3</i>	-0.03	0.01	-2.68	0.01
<i>P3</i>	0.06	0.02	2.58	0.02

Tabla 2: Resumen del ajuste de la regresión lineal múltiple. *A<sub>i</sub>*, *P<sub>i</sub>*, *T<sub>i</sub>* indican el área, el perímetro y la suma total de ND, respectivamente, de los primeros tres polígonos cerrados que contenían a los píxeles más brillantes de cada copa (*i*=1,2 y 3).

3.3. *Residuos.* En la Figura 5 se reportan los valores observados de D.A.P. en terreno en relación a los predichos por la ecuación [1].

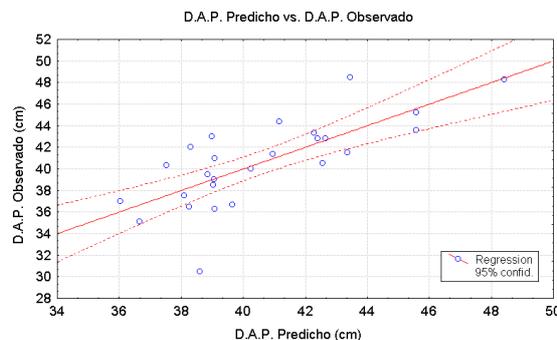


Figura 5: Análisis de residuos de la regresión

#### 4.- Discusión.

##### *Potencialidades*

Los resultados son promisorios si se considera la baja variabilidad diamétrica de los árboles estudiados (tabla 3). Tomando en cuenta esta situación, la predicción del D.A.P. puede considerarse exitosa y es razonable esperar mejores resultados si se considera un rango más amplio de tamaños.

	n	Media	Mínimo	Máximo	Desv. Estándar
Parcela 6	11	40.90	36.30	48.50	3.71
Parcela 10	16	40.30	30.50	48.30	4.22

Tabla 3: Resumen de estadísticas descriptivas del D.A.P para los árboles de cada parcela de medición.

Si se utiliza toda la información contenida en los polígonos de la copa, sin duda se podrá encontrar mejores correlaciones que usando sólo los polígonos que contienen al pixel más brillante. La forma de la copa no necesariamente es cónica, sino que puede tener bifurcaciones múltiples y consecuentemente dividirse en la porción superior en varios polígonos, que son parte de la copa del árbol y que en este trabajo no han sido considerados. La existencia de algoritmos que han probado ser eficientes en el reconocimiento de individuos y delineación de copas, pueden ser de mucha utilidad en la definición del área de inspección de los polígonos y sus respectivos ND (Gougeon, 1995b ).

Existe gran "ruido" en el proceso de captura de la imagen con el método tradicional usado en el presente trabajo. Sin duda, la captura de imagen con cámara digital, en infrarrojo cercano, puede ayudar a mejorar la calidad de la información original. También el uso de estereometría digital automatizada puede contribuir notablemente al delineamiento de las copas. Existe una gran variedad de procedimientos y filtros que deberían contribuir a la delimitación de las copas, en especial el reconocimiento de patrones texturales y morfológicos.

El gran avance tecnológico ofrece equipos y herramientas informáticas que potencian la captura de "información escondida" en las fotografías aéreas y que hoy son sólo usadas para la actualización del uso de suelo.

##### *Limitaciones*

De todas maneras, existen problemas de identificación de copas individuales de relativa complejidad. Se confunden, en la predicción, árboles de bajo D.A.P. con copa muy visible - debido a que están aislados - con árboles de alto D.A.P. pero con copas reducidas (figura 5). El elemento clave para entender este fenómeno es el del proceso de formación de la imagen, en el que la geometría espacial de las copas de los pinos, su mutuo sombreado y las condiciones específicas de ángulos de observación e incidencia de la luz son los factores determinantes.

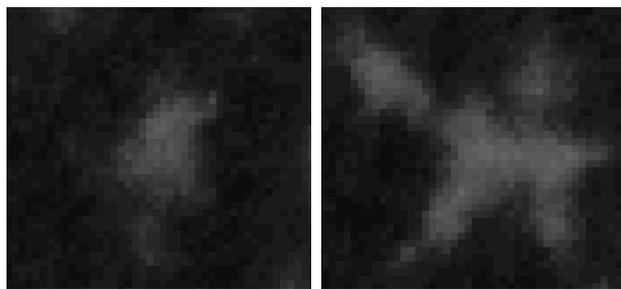


Figura 5: El árbol de la izquierda tiene un D.A.P. de 40,3 cm (árbol 5, parcela 6) y el de la derecha un D.A.P. de 30,5 cm (árbol 8, parcela 10). Ambas ventanas tienen 8x8 m aproximadamente.

Un entendimiento cabal de éste fenómeno debería enfocarse a través de una modelación del proceso de reflexión de la luz en el espectro visible e infrarrojo cuando interactúa con una cubierta vegetal arbórea (Gerard y North, 1997). Estos modelos, además, deberían considerar el entorno de

crecimiento de cada individuo e incorporar correcciones en función de la densidad y competencia puntuales.

Una segunda cuestión de importancia en el análisis es el de la decisión acerca de la escala de trabajo y la resolución espacial. En este trabajo se ha utilizado información proveniente de una escala fotográfica de 1:5.000 con una resolución espacial final de 20 cm. Se sabe que la escala óptima de trabajo es función del tamaño de los objetos contenidos en la imagen (Marceau, Howarth y Gratton, 1994) y que dada su variabilidad no existe un óptimo global sino que es necesario utilizar óptimos locales que mejoren los resultados en función de las características locales de las copas, incluyendo sus comportamientos espectrales y espaciales, del sector de la imagen que los contiene.

Por último, es necesario hacer un comentario acerca de la autocorrelación entre variables independientes utilizadas en el modelo. Como es de esperar se observa una alta correlación entre el área y el perímetro de los polígonos de contorno a un mismo nivel, sin embargo, es de utilidad incluir ambos descriptores debido a que en conjunto dan cuenta de la forma de la copa, que es relevante en la determinación de la tipología del árbol y de su tamaño. Se constata que el perímetro contiene la información de la suma total de ND contenido en el polígono y por lo tanto sería suficiente para explicar la luminosidad de la copa. La autocorrelación dificulta la modelación general del fenómeno y debe tenerse en cuenta al momento de seleccionar las variables independientes.

## 5.-Conclusiones

- Se encontró evidencia empírica para afirmar que es posible correlacionar el D.A.P. con variables descriptoras locales extraídas de imágenes digitales.
- Las variables con mayor correlación fueron el área y el perímetro de segundo y tercer polígono cerrado más cercanos al píxel más brillante de la copa.
- Se espera mejorar los resultados con el delineamiento y aislación automatizada de las copas que permitan hacer una exploración exhaustiva de todos los polígonos internos no reportados en este trabajo.

## 6.- Referencias

Baulies, X. y Pons, X. Approach to forestry inventory and mapping by means of multi-spectral airborne data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 16, No. 1, pp. 61-80.

Cohen, W. Spies, T. y Bradshaw, G., 1990. Semivariograms of digital imagery for analysis of conifer canopy structure. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 34, pp. 167-178.

Cohen, W. y Spies, T., 1992. Estimating structural attributes of Douglas-fir/Western Hemlock Forest Stand from Landsat and SPOT imagery. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 41, pp. 1-17.

Corvalán, P. y Gouet, R. 1995a. SIMUPRO: Simulador Interactivo de Productos de Cosecha Forestal. Actas V Taller de Producción Forestal, Fundación Chile, Concepción Chile.

Corvalán, P. y Gouet, R. 1995b. Evaluación de la calidad de Inventarios Forestales. Informe Fondef FI-11.

Corvalán, P., Gouet, R. y Reyes, C. 1998. Modelo geoestadístico para estimaciones espaciales y su aplicación al manejo sustentable de plantaciones de pino insignne. Procceding (CD) 1er Congreso Latinoamericano IUFRO: El Manejo Sustentable de los Recursos Forestales, Valdivia, Chile.

- Corvalán, P., Gouet, R. y Rath, C. 1998. Técnicas neuronales de fotointerpretación forestal para reconocimiento y cuantificación del bosque. Proceeding (CD) 1er Congreso Latinoamericano IUFRO: El Manejo Sustentable de los Recursos Forestales, Valdivia, Chile.
- Cressie, N. A. 1993. Statistics for spatial data. John Wiley & Sons. Revised Edition. New York.
- Fournier, R, Edwards, G. y Eldridge, N. 1995. A Catalogue of Potential Spatial Discriminators for High Spatial Resolution Digital Images of Individual Crows. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 21, No. 3, pp. 285-297.
- Gerard, F. y North, P. , 1997. Analyzing the effect of structural variability and canopy gaps on Forest BRDF using a geometric-optical model. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 62, pp 46-62.
- Gougeon, F., 1995a. Comparison of Possible Multispectral Classification Schemes for Tree Crowns Individually Delineated on High Spatial Resolution MEIS Images. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 21, No. 1, pp. 1-9.
- Gougeon, F., 1995b. A Crown-Following Approach to the Automatic Delineation of Individual Tree Crowns in High Spatial Resolution Aerial Images. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 21, No. 3, pp. 274-284.
- Hernández, J., 1999. Análisis de la Variación Espacial de Pinares Usando datos de Campo, Fotografías Aéreas 1:6.500 e Imágenes SPOT HRV. Tesis Doctoral, Escuela de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Höck, B.K., Payn, T.W. y Shirley, J.W. 1993. Using geographic information system and geostatistics to estimate site index of *Pinus radiata* for Kaingaroa Forest, New Zeland. *New Zealand Journal of Forestry Science*, Vol. 23, No. 3, pp. 264-277.
- Holmgreen, P. y Thuresson, T., 1997. Applying objectively estimated and spatially continuous forest parameters in tactical planning to obtain dynamic treatment units. *Forest Science*, Vol 43, No. 3, pp. 317-326.
- Lillesand, T. y Kiefer, R., 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. Third Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Marceau, D., Howarth, P. y Gratton, D., 1994. Remote sensing and the measurement of geographical entities in a forested environment. 1. The Scale and spatial aggregation problem. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 49, pp 93-104.
- Marceau, D., Howarth, P. y Gratton, D., 1994b.
- Matheron, G., 1963. Principles of Geostatistics. *Econ. Geol.* Vol. 58, pp. 1246-1266.
- Samra, J.S., Gill, H.S. y Bhatia, B.K., 1989. Spatial stochastic modelling of growth and forest resource evaluation. *Forest Science*, Vol. 35 No. 3, pp. 663-676.
- St-Onge, B. y Cavayas, F., 1995. Estimating forest stand structure from high resolution imagery using directional variogram. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 16, No. 11, pp. 1999-2021.
- Yang, J. y Prince, D. 1997. A theoretical assessment of the relation between woody canopy cover and reflectance. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 59, pp 428-439.
- Zheng, X., Gong, P. y Strome, M., 1995. Characterizing Spatial Structure of Tree Canopy Using Colour Photographs and Mathematical Morphology. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 21, No. 4, pp. 421-429.