

# ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL DOSEL VEGETAL A PARTIR DE VARIOGRAMAS DE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN

S. Merino de Miguel<sup>1</sup>, J. Solana Gutiérrez<sup>2</sup> y F. González-Alonso<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INIA. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Ctra. A Coruña km 7,5 28040-MADRID (España).

<sup>2</sup> ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Av. Ramiro de Maeztu, s/n. 28040-MADRID (España).

## Resumen

El presente trabajo muestra un análisis cuantitativo de la sensibilidad de la información textural de fotografías aéreas e imágenes simuladas de alta resolución espacial con respecto a una serie de parámetros forestales clásicos (área basimétrica, densidad, volumen maderable, volumen de copa, volumen total y tamaño de copa). La influencia de la topografía también es analizada a través de dos de los parámetros que la caracterizan (pendiente y orientación). La textura de la imagen es cuantificada a través del variograma, una herramienta geoestadística robusta y fiable. Los resultados revelan que existe una dependencia compleja entre las variables forestales y las variables extraídas del variograma (rango y meseta). Sin embargo, esta dependencia parece más clara una vez son tenidos en cuenta los efectos producidos por la topografía del lugar.

Palabras clave: *Geoestadística, Topografía, Simulación, Forestal*

## INTRODUCCIÓN

La información relativa a la estructura del dosel vegetal es de gran importancia si se quiere profundizar tanto en el estudio de la distribución y dinámica de las masas forestales como en el desarrollo de nuevos métodos de inventariación y mapeado. En muchos casos, la información sobre la cubierta vegetal es proporcionada por la teledetección ya que ésta es capaz de producir datos fiables con un coste y en un tiempo asumibles.

Sin embargo, gran parte del trabajo que se ha llevado a cabo en el campo de la teledetección de ecosistemas forestales ha sido en el dominio del espectro (COHEN et al., 1990). Esta aproximación se basa en el análisis multispectral de imágenes mediante herramientas estadísticas.

Como resultado se obtiene una clasificación en la que cada píxel expresa un atributo forestal. No obstante, dado que las características espectrales son altamente variables a lo largo de una tesela o rodal forestal, las reglas de decisión basadas en ellas tienden a producir malos resultados (WOODCOCK & STRAHLER, 1987). A este respecto, WOODCOCK et al. (1988) sugieren que la extracción de información de las imágenes teledetectadas puede beneficiarse enormemente del uso de información espacial.

Partiendo de que la estructura forestal es un fenómeno espacial, los análisis que operan en el dominio del espacio pueden ofrecer un gran potencial en el uso de imágenes teledetectadas. Sin embargo, para aprovechar esta circunstancia es necesario encontrar relaciones fiables y robustas que relacionen la organización del

dosel vegetal con la textura de la imagen, es decir, entender la naturaleza y causas de la variación espacial en imágenes y cómo se relaciona dicha variación con las características de la escena y del sensor que capta la imagen (WOODCOCK *et al.*, 1988). El presente trabajo investiga si la información espacial contenida en imágenes de alta resolución espacial es capaz de proporcionar estimaciones fiables de parámetros forestales individuales.

### APROXIMACIÓN ESPACIAL AL ESTUDIO DE IMÁGENES TELEDETECTADAS DE VEGETACIÓN

La estructura espacial de una imagen teledetectada queda patente cuando la escena contiene objetos que son identificables debido a que sus propiedades espectrales son más homogéneas dentro de ellos, que entre ellos y otros elementos (JUPP *et al.*, 1988). La estructura espacial puede estimarse utilizando distintas herramientas, comúnmente llamadas geoestadísticas. La geoestadística ha sido utilizada en el campo de las Ciencias de la Tierra durante las últimas décadas, siendo notable el desarrollo adquirido en teledetección.

El variograma, una de las técnicas más utilizadas, representa la dependencia espacial (la probabilidad de que observaciones próximas en el espacio sean más similares que otras más separadas) mediante una función que relaciona semivarianza con distancia (ATKINSON, 1993). El variograma suele caracterizarse por una serie de parámetros: meseta, rango, efecto pepita, pendiente en el origen y forma. El rango del variograma es una medida de textura controlada por el tamaño y densidad de los objetos de la escena (JUPP *et*

*al.*, 1988). La meseta está relacionada con la variancia media de la escena y suele estar correlacionada con el número de objetos presentes en la escena (WOODCOCK *et al.*, 1988).

Existen dos aproximaciones para tratar de entender la naturaleza y causas de la variación espacial en las imágenes: empírica y teórica (BRUNIQUÉL-PINEL & GASTELLU-ETCHEGORRY, 1998). La aproximación empírica se basa en la definición de parámetros que miden la estructura espacial y su cálculo en imágenes reales. Esta aproximación precisa de grandes series de imágenes y datos de campo para generar relaciones y validar los resultados. La aproximación teórica, que se basa en el uso de imágenes artificiales, requiere un profundo conocimiento de todos los aspectos involucrados en la simulación, pero ofrece a cambio un gran potencial en el estudio de la influencia de factores de forma aislada.

### MATERIAL Y MÉTODOS

Para el presente estudio se han utilizado: fotografías aéreas, datos de campo, un modelo digital del terreno (en adelante, DEM) y cartografía forestal. La zona de estudio es el Parque Natural de El Señorío de Bértiz, en Navarra. Además, se han generado un total de 500 imágenes utilizando un modelo óptico-geométrico de simulación. Los parámetros de variación en las imágenes simuladas han sido: número de pies por ha, tamaño de la copa, pendiente y orientación del terreno. El resto de los parámetros de la modelización se ajustaron lo más posible a las características de las fotografías aéreas utilizadas.

La técnica elegida para medir la textura en el presente estudio es el variograma, por ser un

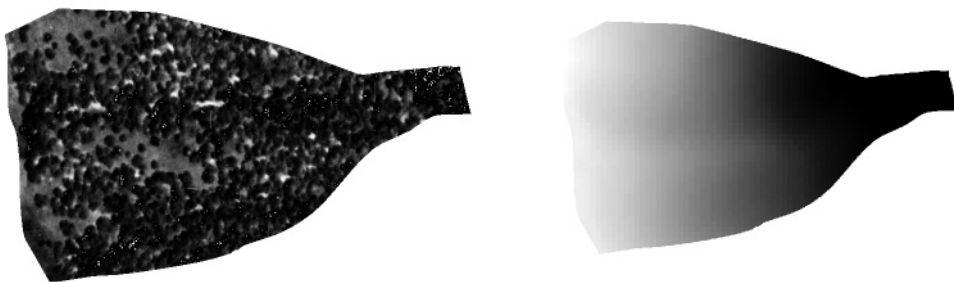


Figura 1. Rodal 1: fotografía aérea y DEM



Figura 2. Imágenes simuladas

método sencillo y eficiente de medir patrones texturales que están bien correlacionados con la estructura del dosel vegetal (ST-ONGE *et al.*, 1997). También se quiso investigar el efecto de la resolución espacial sobre la relación entre los parámetros forestales y los texturales, por lo que las imágenes fueron degradadas varios factores. Por último, se analizó la influencia de la topografía en la textura de las imágenes.

Sobre los variogramas experimentales (calculados para cada rodal a partir de las fotografías aéreas y las imágenes simuladas) se ajustaron expresiones matemáticas, dando lugar a los variogramas teóricos. De éstos se extrajeron los parámetros clásicos: rango y meseta, que se enfrentaron con los parámetros forestales calculados por rodal. El DEM se empleó para calcular la pendiente y orientación de cada rodal, utilizando para ello el ajuste a un plano.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer paso en el análisis de resultados consistió en comprobar si existía correlación entre las variables de campo y las variables geoestadísticas derivadas de las fotografías aéreas. Los mejores resultados de correlación se produjeron entre el rango y el volumen maderable y entre aquél y el volumen de copa, aunque en general la relación era poco evidente. Dado que la falta de correlación podía estar debida a una gran variabilidad en los datos de campo (HUDAK & WESSMAN, 1998), se procedió a realizar un clustering de los rodales sin que hubiera una notable mejoría en los resultados. El análisis de las imágenes simuladas tampoco mostró, en un primer momento, una fuerte correlación entre las variables que definían la escena (radio de copa, densidad, cabida

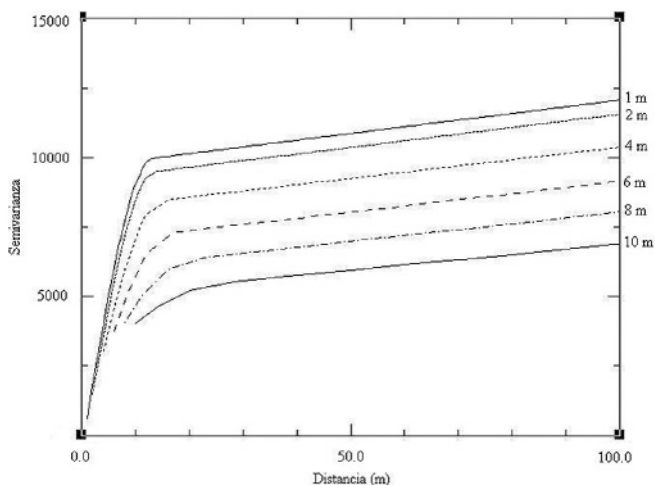


Figura 3. Efecto de la resolución espacial en el variograma

cubierta) y las extraídas del variograma (rango y meseta).

La estructura espacial de una escena fotografiada es función de la relación entre el tamaño de los objetos en la escena y el tamaño de píxel en la imagen generada (JUPP *et al.*, 1988), por lo que si la resolución espacial varía, la estructura espacial de la imagen también variará. Tal y como se observa en la figura 3, conforme la imagen es degradada, la altura de la meseta disminuye y el rango aumenta, haciendo que el variograma adquiera una silueta más simple. Este patrón de variación es similar al identificado por diversos autores (WOODCOCK *et al.*, 1988; BRUNIQUÉL-PINÉL & GASTELLU-ETCHEGORRY, 1998).

El efecto de la pendiente y la orientación sobre la textura de la imagen, cuya influencia potencial aparece en la literatura (ATKINSON *et al.*, 1996), resultaba claro en el análisis visual de las escenas simuladas y fotografiadas. El aspecto clave consistió en averiguar si pendiente y orientación ejercían una influencia detectable desde el punto de vista de la geoestadística y, en caso positivo, si aquella era o no cuantificable. Este análisis se realizó únicamente sobre las imágenes generadas artificialmente.

Para llevar a cabo dicho análisis se agruparon las imágenes en las que el tamaño y número de pies permanecían constantes. Este hecho puso de manifiesto que rango y meseta estaban afectados por la pendiente y la orientación tal y como aparece en la figura 4. Como cabría esperar, para 0° de pendiente la meseta permanece

constante (ya que es independiente de la orientación), mientras que para 30° de pendiente, el valor más alto considerado, la variación es máxima. Conocido este efecto, volvió a investigarse si era posible encontrar alguna relación directa entre parámetros forestales y texturales. COHEN *et al.* (1990) ponen de manifiesto que la meseta del variograma se encuentra relacionada con la cubierta. La figura 5 muestra dicha relación en función de la orientación.

## CONCLUSIONES

Los parámetros biofísicos característicos de un rodal forestal condicionan la estructura espacial de las imágenes que de él se obtengan (BRUNIQUÉL-PINÉL & GASTELLU-ETCHEGORRY, 1998). Sin embargo, esta influencia puede estar totalmente condicionada por la topografía del terreno. El análisis de la información espacial contenida en imágenes de alta resolución puede beneficiarse enormemente de la eliminación del efecto pendiente y orientación. De hecho, cuando se consideran estos parámetros como constantes, se encuentran relaciones fiables entre parámetros forestales y texturales.

La puesta en órbita de satélites de muy alta resolución espacial (Ikonos, Quickbird) así como el desarrollo de técnicas de análisis textural mucho más eficientes, supone un complemento de gran interés a los métodos tradicionales de extracción de información a partir de imágenes.

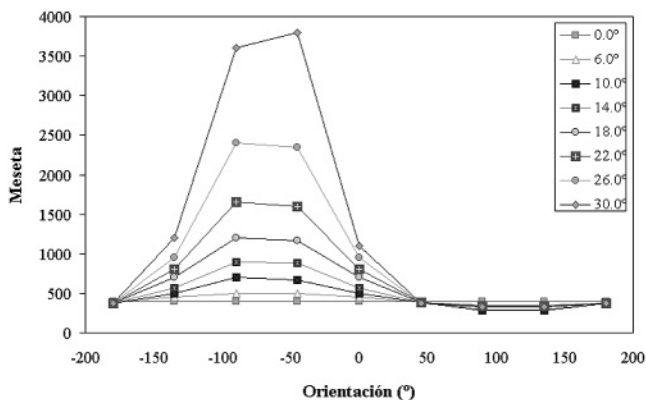


Figura 4. La meseta en función de la orientación y la pendiente (imágenes simuladas)

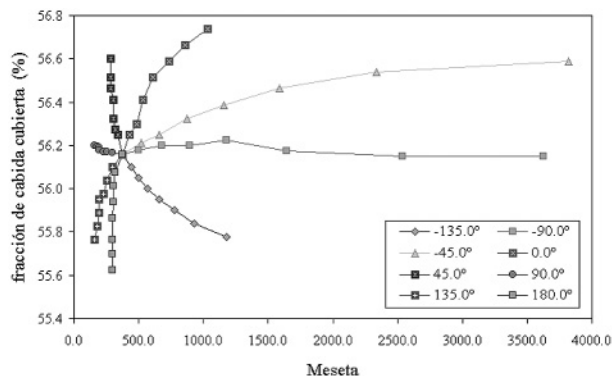


Figura 5. Relación entre la fracción de cabida cubierta (%) y la meseta del variograma, para distintos valores de orientación (imágenes simuladas)

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Geografía del University College of London, los medios informáticos facilitados para la simulación de imágenes.

### BIBLIOGRAFÍA

- ATKINSON, P.M.; 1993. The effect of spatial resolution on the experimental variogram of airborne MSS imagery. *Int. J. Rem. Sens.* 14(5): 1005-1011.
- ATKINSON, P.M., DUNN, R. & HARRISON, A.R.; 1996. Measurement error in reflectance data and its implications for regularizing the variogram. *Int. J. Rem. Sens.* 17(18): 3735-3750.
- BRUNIQUEL-PINEL, V. & GASTELLU-ETCHEGORRY, J.P.; 1998. Sensitivity of texture of high resolution images of forest to biophysical and acquisition parameters. *Rem. Sens. Env.* 65: 61-85.
- COHEN, W.B., SPIES, T.A. & BRADSHAW, G.A.; 1990. Semivariograms of digital imagery for analysis of conifer canopy structure. *Rem. Sens. Env.* 34: 167-178.
- HUDAK, A.T. & WESSMAN, C.A.; 1998. Textural analysis of historical aerial photography to characterize woody plant encroachment in South Africa savanna. *Rem. Sens. Env.* 66: 317-330.
- JUPP, D.L.B., STRAHLER, A.H. & WOODCOCK, C.E.; 1988. Autocorrelation and regularization in digital images. I. Basic theory. *IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens.* 26(4): 463-473.
- ST-ONGE, B.A. & CAVAYAS, F.; 1997. Automated forest structure mapping from high resolution imagery based on directional semivariogram estimates. *Rem. Sens. Env.* 61: 82-95.
- WOODCOCK, C.E. & STRAHLER, A.H.; 1987. The factor of scale in remote sensing. *Rem. Sens. Env.* 21: 311-332.
- WOODCOCK, C.E., STRAHLER, A.H., JUPP, D.L., 1988. The use of variograms in remote sensing. I. Scene models and simulated images. *Rem. Sens. Env.* 25: 323-348.