

## ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO DEL CAMBIO DE ESCALA APLICADO AL ESTUDIO DE OBSERVACIÓN DE LA DEFORESTACIÓN AMAZÓNICA

Mario Chica-Olmo y Sergio Colombo

[mchica@ugr.es](mailto:mchica@ugr.es)

*Universidad de Granada. Dpto. Geodinámica/IACT  
Laboratorio RSGIS "Teledetección, SIG y Geoestadística"  
Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada.*

### Resumen

La elaboración de cartografía temática sobre la distribución espacial del bosque tropical es un aspecto que reviste gran interés medioambiental a escala global y regional. Las técnicas de teledetección están fuertemente involucradas en este cometido y han demostrado su aplicabilidad en numerosos casos de estudio. El trabajo que se presenta se sitúa en un contexto de cambio de escala, analizando la fragmentación espacial de la cubierta forestal observada a partir de imágenes con diferentes resoluciones espaciales. Para ello se ha utilizado la función variograma como herramienta geoestadística que ha permitido analizar y comparar las estructuras de variabilidad de la cubierta forestal, deducida a partir de imágenes con baja, media y alta resolución espacial.

### Abstract

Tropical forest mapping is one of the major environmental concerns at global and regional scales in which remote sensing techniques are firmly involved. This study is presented in a scale change context to analyse forest cover fragmentation at different image scales. The variogram function is the geoestadistic tool used to analyse the similarity and differences of the spatial variability structure of the forest cover given by fine, medium and coarse spatial resolution sensors.

**Palabras clave:** Cubierta forestal, variograma, estructura de variabilidad espacial, cambio de escala.

### INTRODUCCIÓN

Los cambios en la composición y la distribución espacial de la cubierta forestal representan un riesgo importante para el medio ambiente, pues como es sabido afectan directamente a una amplia variedad de procesos biológicos,

bioquímicos y ecológicos. Las técnicas de teledetección están especialmente indicadas para el estudio de los procesos actuales de deforestación en la Amazonía. El proyecto de la FAO (Forest Resources Assessment, FAO 1996) o el proyecto del Centro Común de Investigación (TREES, Achard et al., 1998) son dos buenos ejemplos representativos de estas iniciativas. Es frecuente en estos estudios utilizar sensores de baja resolución para la observación de la cubierta forestal, verificando con posterioridad los resultados con sensores de alta resolución. Los resultados así obtenidos a partir de imágenes de diferentes resoluciones espaciales deben ser analizados en términos de la exactitud cartográfica del trazado de los mapas, lo que dependerá de la resolución de la imagen final seleccionada.

Estudios realizados por Moody et al. (1996) han mostrado como en el proceso de cambio de escala, concretamente al disminuir la escala se produce una reducción en la exactitud de las cubiertas temáticas representadas en los mapas generados. Esta pérdida de detalle cartográfico depende, entre otros factores, de la distribución espacial de la cubierta temática observada a escala de detalle (alta resolución); es decir de su estructura de variabilidad espacial. Por ello, los resultados de estudios referentes a la descripción del bosque tropical en los cuales se utilizan imágenes con diferentes resolución espacial pueden ser válidos a una escala pero pueden no ser extrapolables a otras. Por tanto, escala y resolución espacial son aspectos estrechamente relacionados que deben ser analizado conjuntamente (Woodcock and Strahler, 1987).

En este estudio, se ha realizado una comparación de la distribución espacial de la cubierta de bosque tropical a través de la función

variograma. El aspecto principal considerado es el análisis comparativo de los parámetros que caracterizan la estructura de variabilidad espacial de la cubierta forestal, observada por tres sensores con resoluciones distintas (alta, media y baja). La importancia de este estudio reside en el hecho de que es posible que áreas con el mismo porcentaje de cubierta forestal, pero con distinto grado de fragmentación espacial (distinta estructura), tengan un comportamiento muy diferente en el proceso de cambio de escala, es decir cuando son observadas por satélites con diferente resolución espacial.

Los resultados de este estudio pueden ser útiles a la hora de elegir la resolución espacial óptima para la observación de las dinámicas de la cubierta forestal amazónica.

#### OBTENCIÓN Y PRETRATAMIENTO DE DATOS

Para la realización de este estudio experimental se han utilizado imágenes de tres sensores diferentes proporcionadas por el Instituto de Aplicaciones Espaciales del Centro Común de Investigación de Ispra (JRC, Italia). Las imágenes corresponden a sensores de baja, media y alta resolución espacial: ATSR (pixel 1000 m); RESURS (pixel 160 m) y Landsat 5 TM (pixel 30 m), tomadas en fechas relativamente próximas entre sí. La Agencia Espacial Nacional de Brasil proporcionó los mapas topográficos usados para la georreferenciación y corrección geométrica de la imagen de alta resolución, que fue llevada a cabo utilizando un conjunto de 20 puntos de control. El error resultante fue de 2.7 pixel, considerado aceptable debido a la dificultad de localización de los puntos de control debido a la extrema homogeneidad de la imagen. Las otras imágenes fueron corregidas utilizando la imagen de alta resolución como referencia.

Considerado que el objeto de estudio era la cubierta vegetal, sólo las bandas radiométricas del visible y del infrarrojo cercano fueron utilizadas en la clasificación de las imágenes.

Las imágenes fueron clasificadas en dos clases temáticas "bosque" y "no bosque" (imagen binaria), a través de un método supervisado. A continuación, una región común a las tres imágenes clasificadas fue subdividida en bloques de tamaño 13 x 13 km<sup>2</sup>, obteniendo un total de 152 bloques para el análisis.

#### ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para el estudio variográfico se parte de la premisa de que los ND registrados en la imagen de satélite son una variable regionalizada ND(x). De esta forma, la función ND(x) relaciona el valor

radiométrico observado con la posición del píxel x (Chica-Olmo y Abarca 1997).

La función que caracteriza a esta variable regionalizada es el variograma, definida como una función intrínseca de orden 2 que representa la mitad del momento de segundo orden, esto es:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E \{ [ND(x+h) - ND(x)]^2 \}$$

El variograma es una función vectorial, que cuantifica la mitad de los incrementos cuadráticos medios de los ND, para parejas de píxeles distantes el módulo |h|.

En nuestro caso, la función ND(x) que representa la presencia o ausencia de bosque tropical en los píxeles de cada bloque de estudio, tiene una distribución espacial en la que destacan dos aspectos esenciales para nuestro análisis: el *carácter aleatorio*, que representa la variabilidad imprevisible y por tanto aleatoria a distancia intrapíxel (efecto de pepita), y el *carácter estructural*, que manifiesta el grado de continuidad espacial (correlación) de las dos clases temáticas estudiadas (variable binaria). Ambos aspectos son debidamente estudiado a través del variograma.

La metodología propuesta es la siguiente:

##### a) Análisis variográfico de los 152 bloques y definición de los parámetros geoestadísticos

Este análisis consistió en el cálculo, interpretación y modelación de los variogramas de los bloques para caracterizar las estructuras de variación de las dos clases temáticas. Un aspecto de gran interés reside en el estudio detallado de los parámetros geoestadísticos deducidos del ajuste de los variogramas, p.e. meseta, alcance y efecto de pepita. Así, el alcance es un indicador de la dimensión espacial de las manchas de bosque; la meseta señala la intensidad (varianza) de variación global de los valores binarios en cada bloque y el efecto de pepita es la componente errática / aleatoria de variación intrapíxel.

##### b) Análisis de los parámetros geoestadísticos

Una vez calculados para cada bloque los parámetros geoestadísticos, a través del procedimiento de clasificación K-m se dividieron los 152 bloques en 4 clases de fragmentación: dos extremas, correspondientes a muy alta fragmentación (XF) y baja fragmentación (LF) y dos intermedias, alta fragmentación (HF) y media fragmentación (MF). Los parámetros del variograma, alcance, meseta y efecto de pepita, fueron las variables utilizadas en la clasificación para definir la estructura de fragmentación espacial de los bloques. Los bloques que presentaban valores

parecidos de los parámetros geoestadísticos fueron agrupados en la misma clase de fragmentación. Con ello, se pretende analizar cuál es el comportamiento de estos bloques, en función de su grado de fragmentación, cuando se aplica un proceso de cambio de escala.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La figura 1 ilustra los variogramas relativos de 12 bloques representativos de las cuatro clases de fragmentación (escenas) y de los tres sensores. Se han considerado los variogramas relativos para facilitar la comparación entre ellos. Una primera interpretación visual de los variogramas revela una buena concordancia. Los variogramas de cada escena muestran un comportamiento parecido a corta y larga distancias, caracterizando adecuadamente la fragmentación de la cubierta forestal de los bloques. Como se indica en la tabla 1, los variogramas fueron modelados utilizando un efecto de pepita y dos estructuras esféricas, para corta y larga distancias. Los valores de la meseta para la primera estructura son próximos a un kilómetro para todas las resoluciones, mientras que para la segunda son de varios kilómetros. La primera estructura puede ser asociada a la correlación espacial de las pequeñas manchas; la segunda representaría la continuidad espacial de las dos clases temáticas (bosque y no bosque) en los bloques. Como se esperaba, el efecto de pepita disminuye a medida que disminuye el grado de fragmentación. Esta reducción de XF a LF es alrededor del 70% en el caso de TM y RESURS y 56% para ATSR. También, el grado de aleatoriedad aumenta a medida que baja la resolución de los sensores.

Del análisis de cada escena de fragmentación puede verse que en el caso de XF el sensor ATSR no puede detectar la estructura de fragmentación existente, y en consecuencia su uso no estaría indicado para el análisis de estas escenas de fragmentación. Los sensores de media y alta resolución presentan un comportamiento algo parecido. En el caso de HF, se puede apreciar que el sensor de baja resolución no puede detectar la estructura de correlación de corta distancia, con un valor del efecto de pepita del 72% de la varianza del bloque. La estructura de larga distancia está bien representada en todos los sensores. La tercera escena (MF) muestra variogramas parecidos a las tres resoluciones. Todos los sensores son capaces de detectar y describir la estructura de las grandes manchas existentes. La diferencia más significativa se encuentra en la primera estructura del variograma de baja resolución con respecto a los otros. Este efecto puede ser debido a la presencia de pequeñas

manchas de no losque que sólo los sensores de alta y media resolución pueden detectar y que constituyen una fuente de ruido para el ATSR. El análisis de la cuarta escena de fragmentación (LF) muestra variogramas muy parecidos con una tendencia a aumentar linealmente con la distancia. Este hecho representa la gran continuidad espacial que presenta este tipo de escenas, que puede ser analizada con cualquier tipo de resolución.

De los resultados previos de este estudio experimental, se concluye que la fragmentación espacial es una variable a tener en cuenta cuando se quiere extrapolar los resultados de observación a baja resolución a una resolución mayor. Para ello, el variograma ha demostrado ser una herramienta útil para el análisis la variabilidad espacial del bosque tropical. Así, los parámetros geoestadísticos utilizados para la caracterización del variograma han definido bien la estructura de variación espacial de las manchas de deforestación. En general, el valor de la meseta disminuye hacia altas fragmentaciones mientras que el valor de aleatoriedad aumenta. Por otro lado, a medida que la fragmentación disminuye, es decir en el paso de XF a LF, los variogramas detectan el aumento de homogeneidad de las clases temáticas.

Estos resultados confirman la utilidad de los variogramas para proporcionar información útil para el análisis del problema de cambio de escala en el estudio de la cubierta forestal, cuando se emplean sensores con diferentes resolución espacial.

## REFERENCIA

Achard, F., Eva, H., Glinni, A., Mayaux, P., Richard, T., and Stibig, H. J. (1998), Identification of deforestation hot spot areas in the humid tropics, Trees publication series B. Research Report n°4, EUR 18079 EN, 99 p.

Chica-Olmo, M., Abarca, F., (1997): *Radiometric coregionalization of Landsat TM and SPOT HRV*, en International Journal Remote Sensing, vol. 19, n° 5, pp 997-1005

FAO (1996), FRA (1990): Survey of tropical forest cover and study of change processes, Forestry paper 130 (Rome: FAO).

Moody, A., and Woodcock C. E. (1996), Calibration-based models for correction of area estimates derived from coarse resolution land-cover data, Remote Sensing of Environment, 58:225-241.

Woodcock, C. E., and Strahler, A. H. (1987), The factor of scale in remote sensing, Remote Sensing of Environment, 21:311-322.

Tabla 1: Parámetros de ajuste de los variogramas correspondientes a los cuatro niveles de fragmentación y a los tres sensores: C<sub>0</sub>, efecto de pepita; C<sub>1</sub>, meseta 1ª estructura; A<sub>1</sub>, alcance 1ª estructura (m); C<sub>2</sub>, meseta 2ª estructura y A<sub>2</sub>, alcance 2ª estructura (m).

Fragmentación	TM					RESURS					ATSR				
	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>
Muy Alta: XF	0.25	0.60	750	0.35	2,400	0.35	0.45	960	0.25	2,880	-	-	-	-	-
Alta: HF	0.15	0.60	960	0.35	3,000	0.22	0.37	1,120	0.46	3,520	0.32	0.30	1,000	0.46	4,000
Media: MF	0.12	0.38	900	0.50	8,250	0.19	0.49	640	0.32	8,800	0.29	0.15	1,500	0.56	10,000
Baja: LF	0.08	0.22	900	0.70	9,000	0.10	0.15	480	0.75	9,920	0.14	0.07	1,500	0.79	11,000

Figura 1.- Análisis variográfico de la cubierta bosque/no bosque correspondiente a los cuatro niveles de fragmentación (filas) y los tres sensores (columnas).

