

MEDICIÓN EN FOTOGRAFÍAS AÉREAS USANDO FRACTALES

Measurement in aerial photographs using fractals

H. J. Hernández Palma¹

Recibido en febrero de 1998; aceptado en diciembre de 1998

RESUMEN

Se presenta una metodología de cálculo de la dimensión fractal para fotografías aéreas, basado en la dimensión "box counting" con el fin de probar su uso en la discriminación de bosques. Se comparan tres coberturas de *Pinus sylvestris* con diferentes densidades a través de las dimensiones fractales calculadas con este método.

Palabras Clave: Dimensión fractal, fotografía aérea digital, cobertura de pinos.

ABSTRACT

In order to test its use in discriminating forest types, a method for determining fractal dimension based on a "box counting" algorithm on aerial photographs is presented. Three *Pinus sylvestris* covers with different densities were compared using this method.

Key words Fractal dimension, digital aerial photography, pine covers.

1. INTRODUCCIÓN

En el análisis de la información obtenida por sensores remotos, ya sea espacial o aérea, se han usado técnicas de segmentación que consideran los valores, o niveles digitales, contenidos en cada píxel (contracción del inglés "picture element") y la relación que tienen con sus vecinos, dada una vecindad de tamaño E, para asignar un significado en el mundo real, como por ejemplo, el tipo de vegetación y/o uso del suelo. Estas metodologías se basan en el análisis de los datos almacenados en cada píxel, los cuales pueden ser de dos clases (Pinilla, 1995):

- i. - Imágenes de intervalo: los píxeles contienen valores numéricos enteros en una escala continua caracterizados por una precisión predeterminada (Ej.: 8 bits: 0-255).
- ii.- Imágenes clasificadas: cada píxel contienen un valor descriptor del valor original (clases o etiquetas).

Para el estudio de la distribución espacial de imágenes de intervalo, se usan una serie de índices que según su ámbito de aplicación se clasifican en aquellos aplicables a toda la superficie cubierta por la fotografía, y aquellos aplicables a ventanas móviles de un tamaño dado (Ej.: 3x3, 5x5, etc. píxeles). Sin embargo, algunos de ellos se han usado de las dos maneras descritas. Los índices de mayor uso son (Chuvieco, 1996):

¹ Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Av. Santa Rosa 11315. La Pintana. Santiago de Chile.

- Para toda la imagen: desviación típica, dimensión fractal, auto-correlación espacial y semi-variograma.
- Para ventanas móviles: desviación típica local, diferencias absolutas entre máximos y mínimos, entropía, medidas sobre una matriz de coincidencias y dimensión textural.

El objetivo de este trabajo es calcular la dimensión fractal de tres sectores de una fotografía aérea con distintos tipos de cobertura vegetal y determinar si a través de su análisis se puede discriminar entre ellas. Además se analizarán las diferencias encontradas entre los canales azul, rojo y verde para los tres sectores.

Revisión del concepto “fractal”

Son numerosos aunque no abundantes los trabajos que utilizan a los fractales y su geometría para describir y simular comportamientos naturales aparentemente caóticos. Solé y Manrubia (1995) describen el comportamiento de los claros en ambientes de bosque tropical a través de un modelo autómatas celular simple al que llaman “El juego del bosque” (“Forest Game”). Pastor y Broschart (1990) utilizan el análisis fractal para examinar la distribución espacial de varias especies latifoliadas en rodales de Minnesota. Milne (1992) enfoca el estudio de la fragmentación del paisaje desde el punto de vista de las distribuciones fractales.

En la geometría euclidiana clásica la dimensión de medida (D) de una superficie es 2, así como para una línea es 1 y para un volumen es 3. Si se asume un comportamiento fractal de la superficie o imagen a analizar, su dimensión de medida o la dimensión en donde la autosemenjanza tiene sentido estará comprendida entre 2 y 3, es decir entre el plano y el cubo. Mientras más cercana este a 3 su heterogeneidad espacial será mayor. La dimensión “Box-counting” D_b (recuento de cajas) es uno de los métodos más usados para estimar D. Consiste en un proceso de medida a cierta escala δ (malla de celdas de tamaño $\delta \times \delta$) que ignora las irregularidades de tamaño menor y estudia como varía el número de celdas que cubre el objeto cuando δ tiende a cero.

Para ilustrar mejor la idea anterior considérese una curva E; si se reticula el plano con cuadrados de lado δ , se puede definir la longitud que tiene la curva asumiendo que es el número de cuadrados de tamaño (N_δ) recubiertos por la curva, multiplicados por su lado δ (Figura 1.a). De la misma forma se ve como varía N al ir disminuyendo δ , haciéndolo tender a 0, cuyo límite $N \cdot \delta$ será la longitud de la curva. En términos prácticos no tiene sentido $\delta \rightarrow 0$, y lo que se hace es calcular N_δ para valores pequeños de δ , siendo el término “pequeño” variable según el contexto (Martín, 1993). Los datos obtenidos se representan en un sistema de ejes, ordenadas igual a $-\log \delta$ y abscisa igual al $\log N_\delta$. Se ajusta una regresión lineal, que debería tener un coeficiente de correlación alto si los valores usados son adecuados, y se obtiene D_b a partir de la pendiente de la curva ajustada (Figura 1.b).

Lam (1990), ha usado la aproximación anterior para calcular la dimensión fractal de imágenes Landsat TM. En su trabajo, calcula D para curvas de isovalor obtenidas al clasificar cada píxel como blanco o negro de acuerdo a si es menor o mayor a un valor predeterminado. Repite el cálculo para 6 distintos tamaños de píxel y para curvas de isovalor obtenidas al usar rangos de dos en dos entre 0 y 255. Con los resultados ajusta la curva:

$$\text{Log } L = C + B \log G \quad (1)$$

Donde: L es el largo de la curva, aproximado como el total de celdas blancas con al menos una celda vecina de igual color. G es el tamaño de píxel usado. C y B, son parámetros de la regresión. De esta forma obtiene D para la superficie como:

$$D = 2 - B \tag{2}$$

La expresión debería ser $D = 1 - B$, para una curva, pero se usa el valor 2 para obtener una estimación de D para la superficie en base a la dimensión fractal de las curvas asociadas a ella.

$-\delta$

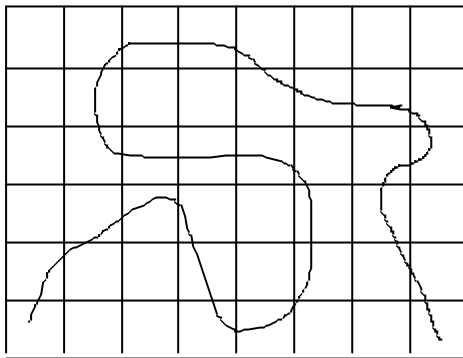


Figura 1.a $N=31$

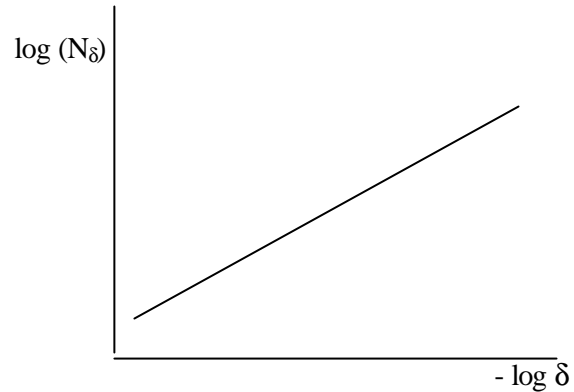
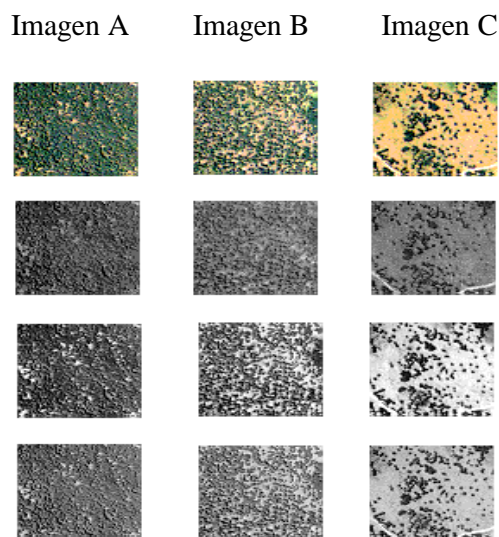


Figura 1.b

Obtención y procesamiento de la información digital

Se escanearon tres sectores a razón de 900 p.p.i. asignando un nivel de gris a cada pixel (0-255), de aproximadamente una hectárea, a partir una fotografía aérea métrica en color, escala 1:18.000, de la zona de Cercedilla, Comunidad de Madrid, en Mayo de 1991. Las tres imágenes obtenidas corresponden a zonas arboladas con *Pinus silvestris* de densidad variable. La imagen A tiene una densidad de vegetación alta, B es una plantación con una densidad media y C, una densidad vegetal baja. Las imágenes están compuestas de 65 filas por 72 columnas de pixeles. Se separaron en sus canales azul, rojo y verde, generando tres nuevas imágenes para cada original. Cada canal tiene el mismo tamaño (65x72) y cada píxel toma valores entre 0 y 255 (niveles de gris). Las imágenes se muestran a continuación, la primera fila es la imagen original escaneada, la segunda fila corresponde al canal azul, la tercera al canal rojo y la última al verde:



2. MÉTODO

Se usó el método de cálculo de la dimensión fractal para curvas de isovalor propuesto por Lam (1990). Las curvas de isovalor pueden ser digitalizadas directamente o derivadas de archivos con datos (x,y,z), como los modelos digitales de terreno. De acuerdo con este método, una vez obtenida la dimensión de medida de la curva, se obtiene la de la superficie sumando 1 a la resultante. La metodología sigue los siguientes pasos:

1. Determinar los tamaños de cuadrícula que se usarán para variar la escala de trabajo. En este caso se usarán los siguientes tamaños de cuadrícula:

Tabla 1 Tamaños de píxel

| Fila x Columna | Razón |
|----------------|-------|
| 65 x 72 | 1/72 |
| 32 x 36 | 1/36 |
| 21 x 24 | 1/24 |
| 16 x 18 | 1/18 |
| 13 x 14 | 1/14 |
| 10 x 12 | 1/12 |

2. Determinar los isovalores dentro del espectro 0-255 para construir las curvas asociadas a ellos. Se trabajó con valores obtenidos al dividir el rango total en seis.

Para cada isovalor y para cada tamaño de cuadrícula:

3. Se clasifica cada píxel como 1 si es menor al isovalor y como 0 si es mayor o igual.
4. Se compara cada píxel con el vecino a lo largo de las filas y se cuenta aquellas que tienen al menos un vecino de igual valor. No se cuenta píxeles aislados para evitar sesgos asociados a características poco frecuentes.
5. Luego de contar el número de celdas vecinas para cada tamaño de píxel y para cada isovalor se ajusta una regresión de acuerdo a la ecuación (2) y se obtiene la dimensión fractal como $D = 2 - B$.

Todos los procedimientos fueron automatizados a través de un programa informático escrito en Turbo basic, diseñado *ad-hoc*.

3. RESULTADOS

Los valores obtenidos representan una mayor complejidad que los registrados con objetos medidos directamente del mundo real, como los modelos digitales de terreno que fluctúan entre 2.1 y 2.5, lo que implica que contienen mayor cantidad de información. Lam (1990), encontró que 6 de las 7 bandas de Landsat TM analizadas generaron valores entre 2.54 y 2.87, rango que cubre totalmente los resultados aquí presentados. (Tabla 2)

Tabla 2 Dimensiones fractales D por imagen y por canal.

| Imagen | Canal azul | Canal Rojo | Canal Verde | Media |
|--------|------------|------------|-------------|-------|
| A | 2.539 | 2.571 | 2.637 | 2.582 |
| B | 2.469 | 2.446 | 2.459 | 2.458 |
| C | 2.544 | 2.580 | 2.542 | 2.556 |
| Media | 2.517 | 2.532 | 2.546 | - |

La imagen A, de bosque denso, presenta el mayor D lo cual se explica por su mayor heterogeneidad textural, tanto en las características de los objetos que la forman (tamaño y forma de las copas) como por el efecto del mosaico bosque-suelo, de mayor intensidad. Sin embargo, la imagen C, presenta también un valor alto de D, lo cual se explica al constatar la alta irregularidad espacial que tienen los componentes arbóreos, característica que queda “disimulada” en la imagen A, dada su densidad. La imagen B contiene un bosque de elementos más regulares (plantación) y por lo tanto su complejidad aunque aparentemente mayor a la imagen C, tiene el valor D más bajo. La tabla 3 muestra los resultados parciales obtenidos para cada una de las imágenes.

Los valores obtenidos para los canales de color, muestran que el verde es el que tiene una mayor complejidad asociada, lo cual es de esperar dado que se trata de coberturas vegetales. Sin embargo, no existen grandes diferencias entre los valores obtenidos, lo que lleva a pensar que la respuesta espectral en conjunto es más importante para una discriminación que canales por separado. De todas maneras, los resultados obtenidos son de carácter local y se requiere analizar otras situaciones con un mayor número de repeticiones.

4. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Se ha comprobado la relación entre la dimensión fractal y la densidad del bosque. Sin embargo, el estimador “*box counting*” no ha sido sensible a las fuentes de complejidad espacial provenientes del bosque denso y el disperso. Algunos autores, Zeide (1990), se ha referido a las posibilidades del análisis fractal para la estimación de la densidad de rodal o la descripción de sucesiones vegetales, pero otras investigaciones han apuntado a la necesidad de integrar diferentes índices para afinar los resultados. Los índices descriptores de la textura, entre los cuales la dimensión fractal es uno más, utilizan la variación espacial de los niveles de gris como ayuda en la clasificación digital y, en forma más reciente, se han incorporado como pieza fundamental en la extracción de información cuantitativa a partir de imágenes digitales de alta resolución espacial (Jensen, 1986). Los variogramas y correlogramas han sido una alternativa al uso de la dimensión fractal. Los desarrollos futuros deberían incluir múltiples estimadores de las características de rodal y evaluar su potencial en forma integrada.

Tabla 3.- Valores parciales de D para las tres imágenes por canal y rango.

| Imagen | Canal | Parámetro | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | Media | Desv. St. |
|--------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-----------|
| A | Azul | B | -0.528 | -0.597 | -0.540 | -0.523 | -0.524 | -0.524 | | |
| | | D _b | 2.528 | 2.597 | 2.540 | 2.523 | 2.524 | 2.524 | 2.539 | 0.029 |
| | Rojo | B | -0.753 | -0.559 | -0.535 | -0.529 | -0.524 | -0.524 | | |
| | | D _b | 2.753 | 2.559 | 2.535 | 2.529 | 2.524 | 2.524 | 2.571 | 0.090 |
| | Verde | B | -1.021 | -0.670 | -0.554 | -0.531 | -0.524 | -0.524 | | |
| | | D _b | 3.021 | 2.670 | 2.554 | 2.531 | 2.524 | 2.524 | 2.637 | 0.196 |
| B | Azul | B | -0.476 | -0.328 | -0.444 | -0.520 | -0.523 | -0.525 | | |
| | | D _b | 2.476 | 2.328 | 2.444 | 2.520 | 2.523 | 2.525 | 2.469 | 0.076 |
| | Rojo | B | -0.333 | -0.347 | -0.490 | -0.499 | -0.497 | -0.509 | | |
| | | D _b | 2.333 | 2.347 | 2.490 | 2.499 | 2.497 | 2.509 | 2.446 | 0.083 |
| | Verde | B | -0.417 | -0.424 | -0.410 | -0.483 | -0.503 | -0.518 | | |
| | | D _b | 2.417 | 2.424 | 2.410 | 2.483 | 2.503 | 2.518 | 2.459 | 0.048 |
| C | Azul | B | -0.584 | -0.511 | -0.584 | -0.535 | -0.526 | -0.525 | | |
| | | D _b | 2.584 | 2.511 | 2.584 | 2.535 | 2.526 | 2.525 | 2.544 | 0.032 |
| | Rojo | B | -0.583 | -0.609 | -0.542 | -0.566 | -0.575 | -0.606 | | |
| | | D _b | 2.583 | 2.609 | 2.542 | 2.566 | 2.575 | 2.606 | 2.580 | 0.025 |
| | Verde | B | -0.558 | -0.530 | -0.526 | -0.526 | -0.585 | -0.527 | | |
| | | D _b | 2.558 | 2.530 | 2.526 | 2.526 | 2.585 | 2.527 | 2.542 | 0.024 |

Los rangos equivalentes de los valores de niveles de gris son

R1=0-42.5, R2=42.5-85, R3=85-127.5, R4=127.5-170, R5=170-212.5 y R6=212.5-255.

B corresponde a la pendiente de la curva de la regresión $\text{Log}(R_i) = a + b * [-\text{log}(\text{Razón})]$ y la dimensión "box counting" $D_b = 2 - B$.

REFERENCIAS

- Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. Rialp. 568 p.
- Jensen, J. R. 1986. Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Lam, N. 1990. Description and measurement of Landsat TM images using fractals. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56 (2) 187-195.
- Martín, M. A. 1993. Estructuras fractales. Labor. 279 p.
- Milne, B. 1992. Spatial aggregation and neutral models in fractal landscapes. The American Naturalist 39(1)32-57.
- Pinilla, C. 1995 Elementos de teledetección. Ra-ma, 313 p.
- Pastor, J. & Broschart, M. 1990. The spatial pattern of a northern conifer-hardwood landscape. Landscape Ecology, 4 (1) 55-68.
- Solé, R. & Manrubia, S. 1995. Are Rainforest self-organized in a critical state?. J. Theor. Biol. Vol. 173, 31-40.
- Zeide, B. 1990. Fractal Geometry in Forestry Applications. Forest Ecology and Management, 46(2)179-188.

