

Estudio preliminar de los patrones de distribución y fragmentación de la vegetación en la “Devesa del Saler” (Valencia) mediante imágenes de alta resolución (QuickBird).

Luis A. Ruiz⁽¹⁾, Josep E. Pardo⁽¹⁾ y Ahsan Zia⁽²⁾

⁽¹⁾ Dep. Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n 46022-Valencia. laruiz@cgf.upv.es; jepardo@cgf.upv.es

⁽²⁾ Dept. Geoinformatics. Karlsruhe University of Applied Sciences. Moltkestr. 30, 76133-Karlsruhe (Germany). ahsanziapk@yahoo.com

Resumen

En este trabajo se estudia el potencial de caracterización de la dinámica evolutiva de la zona dunar de la Devesa del Saler a través del análisis de la distribución de la vegetación, y de su relación con el terreno. Para ello, se han empleado imágenes de alta resolución (QuickBird) de dos fechas distintas y MDE, aplicando técnicas de clasificación espectral y análisis de fragmentación. Los resultados cobran mayor significado cuando se analizan aplicando una zonificación específica en función de la morfología del terreno o de otros factores geográficos, como la distancia a la costa.

1. Introducción

Una de las premisas básicas de la ecología es que los patrones de distribución de los elementos del paisaje influyen de manera decisiva sobre los procesos ecológicos en general [1]. Desde este punto de vista, cobra sentido la posibilidad de caracterizar la dinámica evolutiva de un ecosistema a partir del análisis de la fragmentación y distribución de las unidades de paisaje que lo componen.

En este sentido, el desarrollo de índices que permitan la cuantificación de los patrones del paisaje ha sido un tema objeto de estudio durante las dos últimas décadas ([2], [3], [4]). El análisis métrico del paisaje puede realizarse desde cuatro puntos de vista: Patrones puntuales, de redes lineales, superficiales, y patrones por categorías [5].

En áreas dunares costeras, la distribución de la vegetación está determinada por una serie de factores limitantes, como la existencia de un sustrato arenoso muy permeable que provoca una baja disponibilidad de agua para las plantas, por lo que las especies vegetales que colonizan las dunas suelen disponer de un sistema radicular bien desarrollado verticalmente. Un segundo factor limitante es la movilidad del sustrato, ya que la arena puede ser desplazada fácilmente por el viento. El tercero es el exceso de sal. Dada la cercanía al mar, no es raro que lleguen

partículas salinas arrastradas por el viento, provocando daños importantes sobre las especies no tolerantes.

Estos tres factores son los responsables de la alta especialización de las asociaciones vegetales en las áreas dunares costeras. Geográficamente, estos factores actúan con mayor claridad en las zonas más cercanas a la costa y en los sectores donde el viento llega con mayor intensidad. Por ello, la vegetación propia de estos ecosistemas suele seguir patrones de distribución en bandas, paralelas a la orilla y con importantes diferencias entre las áreas de dunas elevadas y las depresiones de deflación o *blow outs*.

El campo de dunas de la Devesa del Saler (Valencia) es un buen ejemplo de ello. A principios de los años setenta fue parcialmente destruido para desarrollar áreas urbanizadas de carácter turístico-residencial. De las dos zonas estudiadas, la zona norte aún hoy está fuertemente mediatizada por la acción humana. El sector sur, sin embargo, ha recuperado gran parte de su morfología dunar, registrándose fuertes variaciones tanto en el volumen de arena como en su disposición, lo que evidencia su carácter dinámico y cambiante [6].

Otros factores que influyen en la dinámica geomorfológica de los espacios dunares, además de la velocidad del viento, son la densidad, altura, distribución y cobertura de la vegetación, ya que alteran la velocidad local del viento [7] y, por tanto, condicionan la movilidad de los granos de arena.

El objetivo fundamental del trabajo que ahora comenzamos consiste en establecer relaciones entre la dinámica de distribución de la vegetación y la evolución dunar de la zona de la Devesa del Saler. La cuantificación de los patrones de distribución mediante índices de fragmentación y el estudio de su relación con variables topoclimáticas (pendiente, orientación, régimen de precipitaciones y vientos,...) a lo largo del tiempo, nos ayudará a comprender la evolución de este ecosistema y a planificar mejor las actuaciones de conservación.

2. Material y métodos

En este capítulo se describe el material y la metodología, consistente en el preprocesado de las imágenes, su clasificación supervisada, el cálculo de los índices de fragmentación, y su análisis y relación con un modelo digital de elevaciones (MDE).

2.1. Material utilizado

La zona de trabajo consta de dos subzonas: sur y norte. Separadas ambas de una distancia aproximada de 1.300 m. en sus puntos más cercanos, la zona sur tiene una superficie de 27,2 ha., y la norte de 37,2 ha. El material utilizado hasta el momento consiste en dos imágenes QuickBird, una de junio de 2004 y la otra de noviembre de 2004, de la zona completa, que incluyen las bandas pancromáticas (0,61 m) y multiespectrales (2,5 m). Se empleó cartografía digital a escalas 1:2.000 y 1:10.000 para la georreferenciación de las imágenes.

También se usaron dos MDE, uno de ellos, el de la subzona sur, creado a partir de una nube de puntos de cota (unos 50.000) tomados directamente en campo sobre las principales líneas de rotura con GPS cinemático en tiempo real, cuyo paso de malla es de 1 m. El MDE de la zona norte se obtuvo a partir de la cartografía digital 1:2.000, resultando un paso de malla de 2 m. Ambos modelos se emplearon para el análisis de las relaciones entre el relieve y la distribución de la vegetación.

Por último, se desarrolló el código específico para el cálculo de los índices de fragmentación en el entorno VisualStudio C++.

2.2. Metodología

2.2.1. Preprocesado de las imágenes

A cada una de las dos imágenes se le aplicaron los siguientes procedimientos de preprocesado: (1) Georreferenciación de la imagen pancromática, tomando como referencia la cartografía digital oficial 1:10.000 y 1:2.000 de la zona. (2) Registro geométrico de la imagen multiespectral, tomando como referencia la imagen pancromática anterior y remuestreando la imagen resultante a 0,6 m. En ambos casos, el error medio cuadrático de la transformación aplicada fue inferior a 0,5 píxeles. (3) Fusión de ambas imágenes, pancromática y multiespectral. Para ello, se ensayaron los métodos de Brovey, sustitución por transformación al espacio de color HSI, y sustitución mediante análisis de componentes principales, eligiendo éste último método al ofrecer mejores resultados de correlación espectral y *bias*. Una vez obtenidas las imágenes fusionadas, se calculó el NDVI en ambas, incluyéndolo como una banda adicional, y se

recortaron las dos subzonas según los límites de las áreas de interés específico en el estudio (figura 1).

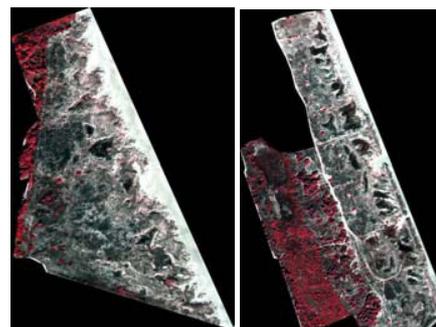


Figura 1: Combinación en falso color IR de las dos subzonas de trabajo: Sur (izq.) y norte (dcha.).

2.2.2. Clasificación espectral

Empleando las cuatro bandas espectrales de las imágenes fusionadas (visible y NIR), e incluyendo el NDVI, se llevó a cabo la clasificación espectral de las cuatro imágenes (2 zonas x 2 fechas) en las siguientes unidades de vegetación:

- *Arboles y arbustos*: vegetación de porte arbóreo o arbustivo (*Pinus halepensis*, *Quercus coccifera*, *Phillyrea angustifolia*, *Rammus*).
- *Vegetación herbácea*: especies propias de zonas dunares (*Amophila*, *Lotus*, *Malcomia*, *Imula*, *Juncus*, *Sporobolus*, *Echinophora*, *Artemisa*, etc.) en pleno estado de vigor vegetativo.
- *Vegetación no fotosintética*: Similares especies herbáceas pero cuya actividad fotosintética era inexistente o baja en el momento de toma de la imagen. También se incluyen algunos rodales de humus y vegetación en descomposición.
- *Suelo desnudo*: suelo dunar arenoso y seco.

Se realizó un muestreo de campo con GPS en la misma semana que se adquiría la imagen de noviembre, con el fin de poder interpretar *in situ* la distribución de la vegetación, identificar las especies y localizar muestras de aprendizaje. Las clasificaciones supervisadas se realizaron mediante el método de máxima probabilidad.

En el análisis de fragmentación es preciso evitar, dentro de lo posible, los píxeles sueltos o las unidades demasiado pequeñas, así como los nexos entre rodales que sean demasiado estrechos, para que la tendencia dominante de los índices que se basen en el número de rodales de cada clase o en la relación área/perímetro no resulte afectada. Para ello, se aplicó el siguiente tratamiento post-clasificación: a) Filtrado de moda 5x5 para eliminar manchas

demasiado pequeñas. b) Creación de cuatro imágenes binarias, una por clase, donde se asigna el valor 1 a todos los píxeles que pertenecen a esa clase y 0 al resto. c) Filtro morfológico de apertura con dos iteraciones, es decir, dos erosiones seguidas de dos dilataciones, usando como elemento estructural un cuadrado de 3x3, con objeto de eliminar uniones estrechas entre rodales y evitar formas anómalamente complejas.

2.2.3. Cálculo de los índices de fragmentación

Para el análisis de la fragmentación del paisaje, se desarrolló una aplicación específica en C++ en la que los datos de entrada son las imágenes binarias de cada clase obtenidas tras la clasificación. Como resultado, se obtienen dos ficheros en formato ASCII que contienen los índices de fragmentación.

La aplicación consiste en lo siguiente: A partir de las imágenes binarias de cada clase se definen los contornos de todas las manchas o rodales y se codifican según su código cadena. A continuación se calculan los índices, agrupados en tres niveles: (1) Características de cada objeto independiente (perímetro, área, centro de gravedad, rectángulo envolvente, orientación, índices de forma y dimensión fractal), calculadas directamente a partir del código cadena de cada mancha. (2) Relaciones entre objetos de la misma clase (número total de rodales, densidad, área total,...) hasta un total de 13 propiedades que definen la distribución y relación entre objetos de una misma clase. (3) Características entre distintas clases, que reflejan las relaciones entre la distribución de las tres clases de vegetación (índices de diversidad y equidad de Simpson y Shannon, etc.). Así pues, se obtienen unos 8 índices a nivel de objeto, 13 a nivel de clase y 7 a nivel de paisaje. En su mayoría, los índices de fragmentación calculados son los propuestos por McGarigal [4].

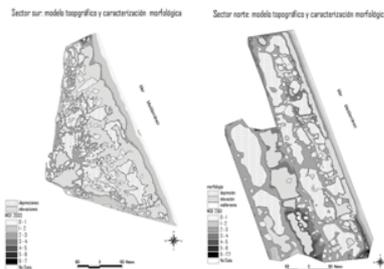


Figura 2: Modelo topográfico y caracterización morfológica de ambas subzonas.

2.2.4. Análisis de MDE y factores zonales

Por último, se estudió la influencia de parámetros como la altitud o la proximidad al mar en

la distribución y proporción de las diferentes unidades de vegetación presentes, y en su evolución entre junio y noviembre. Para ello, a partir de los MDE se obtuvieron las áreas sobreelevadas—que se corresponden con las áreas de dunas—, y las áreas deprimidas —que se corresponden fundamentalmente con las depresiones de deflación— (figura 2).

3. Resultados y discusión

Analizando los índices de fragmentación a nivel de clase y de paisaje, se aprecia lo siguiente:

- Atendiendo a la dimensión fractal media, en la zona sur aumenta ligeramente la complejidad estructural de los rodales de las clases herbáceo, vegetación no fotosintética y suelo, mientras que disminuye en arbóreo. En la zona norte, se observa el mismo comportamiento para la clase herbáceo, pero no para arbóreo. Por otra parte, en la zona norte disminuye la superficie total de árboles, pero aumenta su densidad, lo que indica un aumento en la fragmentación o dispersión de los elementos de esta clase. Estos dos últimos resultados podrían explicarse por el mayor efecto de sombreado que se da en la imagen de noviembre, debido al menor ángulo de elevación solar, lo cual provoca un aumento de la proyección de sombras de los árboles, disminuyendo así el efecto de compacidad clase y aumentando su complejidad y fragmentación.
 - El efecto anterior puede verse también examinando la evolución del tamaño medio de rodal entre junio y noviembre: mientras en el sur aumenta en las tres clases de vegetación (aumenta la compacidad), en la zona norte disminuye.
 - Examinando los índices a nivel de paisaje, se observa un aumento de la dispersión global en la zona norte y una disminución en la zona sur. También disminuye la compacidad global en la zona norte y aumenta en la zona sur.
 - Los índices de de Simpson y Shannon reflejan una disminución de la equidad de la distribución entre clases, esto es, un aumento de la dominancia de unas clases con respecto a otras.
 - En ambas zonas, en las áreas dunares próximas al mar, en junio hay más abundancia de vegetación fotosintética que en noviembre. Esto podría deberse al efecto de los vientos fríos de otoño.
- Dada la influencia del efecto de lejanía del mar, el análisis de MDE se ha centrado en observar las proporciones de cada clase dentro de una misma unidad morfológica—elevación o depresión—y dentro una determinada banda de vegetación. Las principales observaciones son las siguientes:
- En todos los casos analizados, el porcentaje de suelo desnudo disminuye al aumentar la distancia a la costa, siendo la playa y el pie de la primera

alineación dunar el único lugar donde predomina con claridad. Ésta será la zona más móvil.

- Las principales diferencias entre los dos sectores analizados se aprecian sobre todo en las clases de vegetación herbácea y arbórea. En el caso de la cubierta herbácea sobre las dunas, llaman la atención las diferencias entre el sector norte y sur. En el primero prácticamente no existe, si se exceptúa la banda interior (240-350 m) mientras que el sur muestra una proporción significativa en las tres bandas analizadas en las que hay elevaciones, si bien abunda más en la interior.
- La vegetación arbórea-arbustiva todavía presenta mayores diferencias. Así, mientras que en el sector meridional de las áreas dunares —elevadas— no existe, en el sector norte tiene cierta significación, llegando a ser dominante hacia el interior.

Por otra parte, en la figura 3 se muestra la variación de la superficie acumulada de la vegetación herbácea en función de la distancia al mar, registrando por una parte lo que sucede en las zonas de dunas y por otra en las depresiones. Se observa que la variación estacional sobre los dos modelos morfológicos es opuesta: en las zonas deprimidas, la vegetación herbácea es más abundante en noviembre que en junio, mientras que en las elevaciones dunares ocurre lo contrario. Ello sugiere que se analizan dos grupos de asociaciones: en las dunas probablemente se trate de asociaciones de *Ammophila arenaria*, como lo prueba el hecho de que en ellas la clase herbácea ocupa los lugares más elevados topográficamente —esta especie está muy bien adaptada frente al efecto del viento— mientras que en las depresiones, lo que llamamos herbáceas probablemente sean asociaciones de especies freatófilas (*Inula crimoide*, *Juncus*). De hecho, la altitud media que ocupa la clase herbácea en las zonas de depresión siempre es menor que la del resto de las clases.

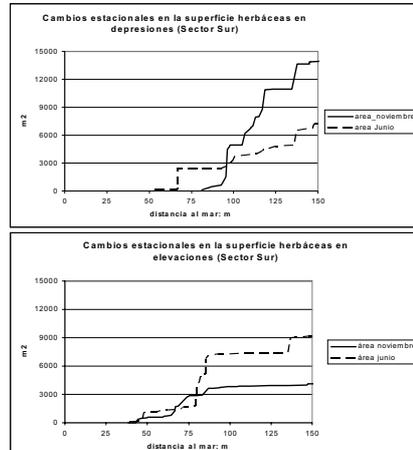


Figura 3: Cambio estacional de la vegetación herbácea en función de la zona que ocupa: elevación o depresión.

4. Conclusiones

Un primer estudio sobre las relaciones entre la distribución de la vegetación y la dinámica y morfología de los espacios dunares de la Devesa del Saler, muestra algunos aspectos que deberán tenerse en cuenta en un futuro. Por un lado, la conveniencia de aplicar una zonificación apropiada en los análisis, en función de la morfología del terreno (altitud, pendiente,...) y de la distancia a la costa, ya que son factores que condicionan los distintos patrones de desarrollo y evolución del ecosistema. Se han apreciado, en algunos casos, respuestas opuestas en las dos zonas de estudio, probablemente debido a las diferencias de la actividad humana. Las imágenes de alta resolución constituyen una buena base de datos para el análisis de fragmentación entre los grupos de vegetación estudiados, si bien dicho análisis ha de basarse en la comparación evolutiva a partir de imágenes de varios años, y teniendo en cuenta el efecto de factores externos, como por ejemplo la variación estacional del ángulo de elevación solar.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Oficina Técnica de la Devesa del Saler-Albufera del Ayuntamiento de Valencia el apoyo técnico prestado, así como al MCyT y al FEDER la financiación proporcionada en el marco de los proyectos BTE2002-04552 y REN2003-04998.

6. Referencias

- [1] Turner, M.G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, 171-197, 1989.
- [2] Turner, M.G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology*, 4, 21-30, 1990.
- [3] Baker, W.L., Cai, Y. The *r.le* programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. *Landscape Ecology*, 7, 291-302, 1992.
- [4] McGarigal, K., Marks, B.J. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, 1995.
- [5] McGarigal, K. *Landscape pattern metrics*. Pages 1135-1142 in A. H. El-Shaarawi, W. W. Piegorsch, eds. *Encyclopedia of Environmetrics Volume 2: 1135-1142*. John Wiley & Sons, Sussex, England, 2002.
- [6] Pardo, J.E., Sanjaume, E., Gironés, M.J. y López Galera, M.N. Análisis del proceso de regeneración natural de las dunas de la Punta del Perellonet entre 1973 y 2001, en Sanjaume, E. y Mateu, J.F. (eds.): *Geomorfología i Quaternari Litoral*, (en prensa).
- [7] Hesp, P. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics, *Geomorphology*, 48: 245-268, 2002.