

Diversidad espacial de los usos del suelo en el Parque Nacional de Doñana

J.M. Cuevas Gonzalo

Laboratorio de Teledetección

Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria

RESUMEN

Se ha analizado la diversidad espacial de los usos del suelo en el Parque Nacional de Doñana utilizando la información contenida en una imagen Landsat-4 MSS captada en 1989. Se consideraron ocho usos del suelo: marisma inundada, marisma inundada con *Phragmites* sp., matorrales y arrozales. Se realizó una clasificación supervisada y se obtuvo la diversidad espacial mediante el cálculo del número de clases de usos del suelo presentes en una ventana de 3 x 3 píxeles alrededor de cada píxel del área en estudio.

ABSTRACT

The spatial diversity of the ground covers in the National Park of Doñana (Spain) has been studied using the information of a Landsat-4 MSS image recorded the year 1989. Eight ground covers were considered: coastal dunes, pine forests, eucalyptus forests, flooded marshes, non flooded marshes, flooded marshes with *Phragmites* sp., rice fields and brushwoods. A supervised classification was performed and the spatial diversity was calculated in base to the number of ground cover classes present in a window of 3 x 3 pixels around each pixel of the study area.

El concepto de diversidad Biológica

El estudio de la diversidad biológica es un tema que suscita un creciente y justificado interés, debido al deterioro mundial del medio ambiente y a las pésimas perspectivas futuras si las causas que originan la progresiva pérdida de diversidad biológica que sufre el planeta no se modifican. En la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992, se aprobó el Tratado de Biodiversidad.

En Margalef (1969), Pielou (1979), Wilson (1988), Magurran (1988) y Noss (1990) se puede encontrar información sobre la diversidad biológica y su cuantificación. En Pineda (1991) aparece una revisión sobre la diversidad biológica y la conservación de la naturaleza en España.

Bajo el concepto de diversidad biológica se estudia habitualmente la riqueza de una comunidad determinada en especies u otros táxones. El concepto de diversidad

se puede generalizar a otras apreciaciones métricas del sistema (Margalef, 1974), entre las que cabe incluir la diversidad de los usos del suelo en el área en estudio (Fabos *et al.*, 1973, González-Alonso, 1982).

Uno de los enfoques que ha alcanzado mayor difusión y aplicación es la utilización de la fórmula de Shanon-Weaver (1963), basada en la teoría de la información:

$$D = \sum_{i=1}^n P_i \log P_i$$

Siendo:

D = la métrica de la diversidad.

n = número total de especies, o usos del suelo, diferentes en una parcela.

P_i = la probabilidad de que se dé la especie o uso del suelo i en la parcela.

Las imágenes de satélite (Landsat MSS, Landsat TM, NOAA AVHRR, SPOT, ERS-1, etc.) han sido utilizadas para un número ingente de estudios y aplicaciones, entre las que algunas de éstas, como la mejora de la estimación de superficies cultivadas, han adquirido carácter operacional (Allen y Hanuschak, 1988; González-Alonso *et al.*, 1988; González-Alonso *et al.*, 1990; González-Alonso *et al.*, 1991).

Sin embargo, las aplicaciones de las imágenes multiespectrales procedentes de los sensores remotos al estudio de la diversidad ambiental son hasta el presente inhabituales. Stoms y Estes (1993) han propuesto recientemente una agenda para la incorporación de la información aportada por la Teledetección al control y cartografía de la biodiversidad.

Robinove (1986) propuso una metodología para el estudio de la diversidad espacial en mapas de celdas similares en estructura a las imágenes de satélite. Este autor definió un índice de diversidad espacial calculado como:

$$D = 100 (i - 1) / (n - 1)$$

Siendo:

D = índice de diversidad, con valores de 0 para el paisaje más sencillo a 100 para el paisaje más complejo.

i = número de clases que están en la vecindad del individuo analizado.

La vecindad puede ser definida como un radio de cualquier número de celdas.

n = número total de clases en el mapa.

El objetivo de este estudio ha sido obtener una cuantificación de la diversidad espacial de los usos del suelo en el Parque Nacional de Doñana a partir de la información contenida en una imagen Landsat MSS.

El área en estudio

El Parque Nacional de Doñana está situado en la margen derecha de la desembocadura del río Guadalquivir (Provincia de Huelva), tiene una superficie aproximada de 50.000 ha y es el principal área europea para las migraciones de aves. En la Figura 1 aparecen la localización del Parque Nacional de Doñana y los principales usos del suelo existentes en su interior. Este estudio se ha realizado sobre el conjunto del Parque Nacional de Doñana, incluyendo el Preparque Norte y el Preparque Este.

El clima de la zona es mediterráneo, calificado como seco-subhúmedo con exceso de agua en invierno. Un aspecto muy característico del Parque es que posee una dinámica hidrológica marcadamente estacional.

Según Llamas (1988) en el Parque Nacional de Doñana existen tres ecosistemas diferentes: las arenas estabilizadas, las dunas vivas y la marisma. Las arenas estabilizadas son antiguas dunas, actualmente allanadas pero conservando un cierto relieve. Las dunas vivas constituyen uno de los paisajes más espectaculares de España, consistiendo en cuatro o cinco filas de dunas paralelas a la costa. La vegetación crece en las pequeñas vaguadas existentes entre duna y duna debido a la proximidad del manto freático. La velocidad del avance de las dunas es de unos cuatro - seis m/año y conforme van avanzando las dunas se destruye la vegetación y se van instalando nuevas biocenosis. Las marismas cubren el vasto delta existente detrás de las dunas litorales.

El ecotono o área de contacto entre las marismas y las dunas móviles y las arenas estabilizadas es la zona de mayor productividad del Parque Nacional de Doñana, debido a su humedad y a la fertilización que realizan los animales. La humedad allí existente es debida a que en esta zona se producen importantes descargas del acuífero que han sido evaluadas en cifras del orden de 12 hm³/año (Virgos *et al.*, 1983).

El régimen hidrológico del Parque Nacional de Doñana se ha visto considerablemente afectado en los últimos años, fundamentalmente debido al Plan de Regadíos Almonte - Marismas y al suministro de agua a Matalascañas.

Proceso de la imagen

Para la realización de este estudio se ha utilizado una imagen captada por el sensor MSS del satélite norteamericano Landsat-4 el 22 de agosto de 1989.

El sector de la imagen Landsat MSS cubriendo el área en estudio se extrajo por digitalización, quedando constituido por 149.292 píxeles.

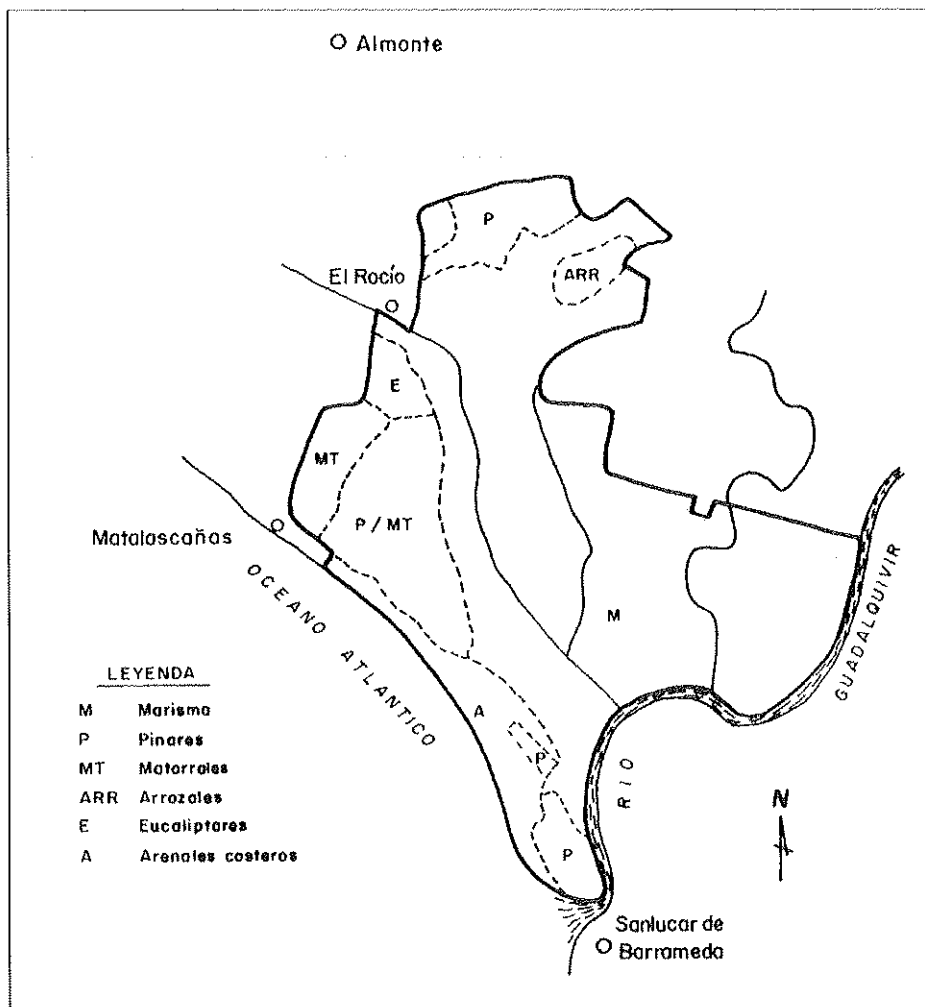


Figura 1
Situación del Parque Nacional de Doñana y principales usos del suelo en su interior

Se realizó una clasificación supervisada de máxima verosimilitud de la parte de imagen en proceso. Las clases de usos del suelo consideradas fueron: arenales costeros, pinares de *Pinus pinea* L., eucaliptares, marisma inundada, marisma no inundada, marisma con *Phragmites* sp., arrozales y matorrales. Para la obtención del clasificador se definieron 16 clases espectrales, es decir, clases formadas por píxeles con una respuesta espectral bastante homogénea, correspondiendo dos a arenales costeros, cuatro a pinares, una a eucaliptares, una a marisma inundada, cinco a marisma no inundada, una a marisma con *Phragmites* sp., una a arrozales y una a matorrales.

En algunas de las clases de usos del suelo se definieron más de una clase espectral debido a la heterogeneidad de la respuesta espectral de esas clases de usos del suelo. Así, en el caso de la marisma no inundada se debe a que parte de ella ha sido cultivada hasta hace pocos años y a que la frecuencia con que se encuentra inundada es muy variable, y en el caso de los pinares es consecuencia de la diferente edad y grado de cubierta de las masas.

Para cada clase espectral se fijaron unas áreas de entrenamiento, a partir de cuyos valores espectrales se construyó el clasificador y se procedió a la clasificación de la parte de la imagen Landsat MSS cubriendo el área en estudio.

Se ha seguido para la obtención de la diversidad espacial un enfoque similar al propuesto por Robinove (1986) para el cálculo de la diversidad espacial en mapas temáticos, pero aplicándolo a los resultados de clasificación de una imagen de satélite. Para su cálculo se ha utilizado una ventana de 3 x 3 píxeles centrada en cada píxel en análisis. Cada píxel podría tener teóricamente una diversidad espacial entre 1 y 9, según el número de clases diferentes presentes en la ventana de 3 x 3 píxeles, pero en este caso sus valores estarán entre 1 y 8, puesto que son ocho los usos del suelo considerados.

Resultados y discusión

Las áreas de entrenamiento estuvieron formadas por 3.761 píxeles, es decir, un 2,519% del total del área en estudio. Los porcentajes de clasificación correcta obtenidos en las áreas de entrenamiento para los ocho usos del suelo fueron:

Arenales costeros = 100%

Pinares = 98,974%

Eucaliptares = 95,833%

Marisma inundada = 100%

Marisma no inundada = 99,896%

Marisma con *Phragmites* sp. = 100%

Arrozales = 100%

Matorrales = 98,288%

El porcentaje de clasificación correcta total obtenido fue del 99,282%.

Los resultados obtenidos en la clasificación supervisada del sector de la imagen Landsat MSS cubriendo el área en estudio, fueron:

Arenales costeros = 6.433 píxeles

Pinares = 14.527 píxeles

Eucaliptares = 14.714 píxeles
Marisma inundada = 1.858 píxeles
Marisma no inundada = 81.239 píxeles
Marisma con *Phragmites* sp. = 19.560 píxeles
Arrozales = 1.244 píxeles
Matorrales = 9.717 píxeles

El escaso número de píxeles clasificados como arrozales responde al hecho de que el año 1989 fue un año de precipitaciones escasas. Esta circunstancia también fue una de las causas del descenso en la superficie cultivada en regadío en el entorno de Doñana (Cuevas y González-Alonso, 1991) y de la reducida superficie de marisma inundada.

Para el conjunto del área en estudio se obtuvo el siguiente número de píxeles para cada uno de los posibles valores de 1 a 8 de diversidad espacial:

Diversidad espacial	Nº	%
1	77.466	51,89
2	44.749	29,97
3	19.006	12,73
4	6.846	4,59
5	1.189	0,80
6	36	0,02
7	1	0,00
8	0	0,00

Como se puede observar en la tabla anterior 77.466 píxeles (51,89% del total) tienen un valor de diversidad espacial igual a 1. Es decir, en las ventanas de 3 x 3 píxeles que les rodean todos los píxeles se han clasificado en la misma clase de usos del suelo. En ningún caso están las ocho clases de uso del suelo presentes en una ventana de 3 x 3 píxeles.

Los valores de diversidad espacial obtenidos se agruparon en tres clases: la clase 1 formada por los píxeles con un valor de diversidad espacial igual a 1, la clase 2 formada por los píxeles con un valor de diversidad espacial igual a 2 y la clase 3 formada por los píxeles restantes. La clase 1 estará compuesta por los píxeles de diversidad espacial baja, la clase 2 por los píxeles de diversidad espacial media y la clase 3 por los píxeles de diversidad espacial alta. La clase 1 quedó constituida por 77.466 píxeles (51,88% del total), la clase 2 por 44.748 píxeles (29,79% del total) y la clase 3 por 27.078 píxeles (18,14% del total).

En la Imagen 1 aparece representado el proceso realizado. La detección de bordes se ha realizado basándose en la relación de vecindad de los píxeles (Star y Estes, 1990).

En la Tabla 1 aparecen los resultados obtenidos al cruzar la clasificación en las ocho clases de uso del suelo consideradas y la clasificación del área en estudio según la diversidad espacial, correspondiendo la segunda línea de cada clase de usos del suelo a los porcentajes que supone cada clase de diversidad en cada clase de uso del suelo.

Como se puede observar en la Tabla 1 la clase de usos del suelo que tiene una menor diversidad espacial es la marisma no inundada, lo cual es lógico pues la marisma ocupa de forma continua una gran parte del área en estudio. El que la marisma inundada presente una diversidad espacial baja es consecuencia del hecho de que en la fecha de captación de la imagen Landsat MSS utilizada las áreas de marisma que estaban inundadas se reducían a los lucíos de la Esparragosilla.

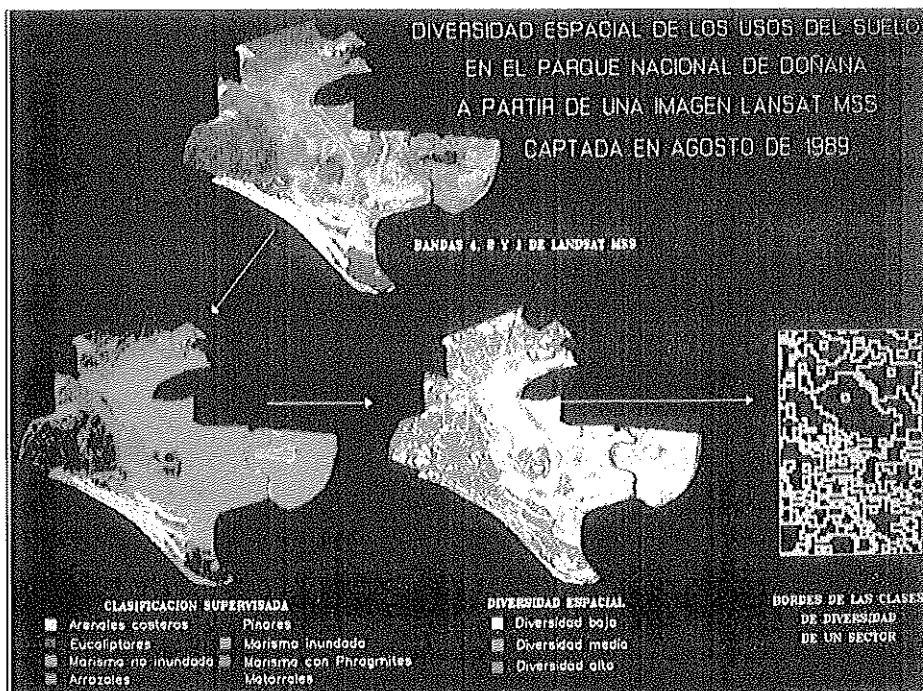


IMAGEN 1

Proceso seguido para el estudio de la diversidad espacial de los usos del suelo en el Parque Nacional de Doñana a partir de una imagen Landsat MSS. (A. 67)

Las clases que presentan mayor diversidad espacial son las clases matorrales y eucaliptares, poniendo de manifiesto como estas clases se encuentran bastante distribuidas en el interior del Parque Nacional de Doñana. Los valores de diversidad espacial de estas clases son netamente superiores a los obtenidos para la clase pinares, lo cual muestra que esta última clase tiene un grado de agregación espacial muy superior a las otras cubiertas forestales.

Conclusiones

El uso de la información que ofrecen los sensores remotos es especialmente interesante cuando se busca evaluar la distribución y diversidad espacial de los usos del suelo o cubiertas vegetales.

El análisis de la diversidad espacial aparece como una herramienta de gran interés para evaluar los resultados obtenidos en un proceso de clasificación de una imagen de satélite, pues permite obtener una valoración de la agregación o dispersión es-

Uso del suelo	Diversidad espacial		
	baja	media	alta
Arenales costeros	2.731	3.409	293
%	42,45	52,99	4,55
Pinares	4.806	5.884	3.837
%	33,08	40,50	26,41
Eucaliptares	1.642	6.732	6.340
%	11,16	45,75	43,09
Marisma inundada	1.025	509	324
%	55,17	27,40	17,44
Marisma no inundada	60.742	14.674	5.823
%	74,77	18,06	7,17
Marisma con <i>Phragmites</i> sp.	4.476	9.513	5.571
%	22,88	48,63	28,48
Arrozales	468	400	376
%	37,62	32,15	30,23
Matorrales	1.576	3.627	4.524
%	16,22	37,33	46,45
Total	77.466	44.748	27.078
%	51,88	29,79	18,14

Tabla I

Distribución de los píxeles de las clases de usos del suelo según la diversidad espacial

pacial de las clases en estudio, lo cual puede ser un indicador de la corrección del proceso de clasificación realizado y un detector de resultados anómalos.

En el Parque Nacional de Doñana la mayor diversidad espacial obtenida a partir de una imagen Landsat MSS la han presentado los matorrales y los eucaliptares, y la menor la marisma no inundada.

Bibliografía

- Allen, D. and Hanuschak, G.A.:** 1988. The remote sensing applications program of the National Agricultural Statistical Service: 1980-1987. NASS Staff Report SRB-88-08, National Agricultural Statistical Service, Washington, DC.
- Commission des Communautés Européenes:** 1987. Programme décennal de recherche et développement pour l'application de la télédétection aux statistiques agricoles. SP.1.87.39/FR, Centre Commun de Recherche, Ispra, Italia.
- Cuevas, J.M. y González-Alonso, F.:** 1991. Evolución de las superficies cultivadas en regadío en el entorno del Parque Nacional de Doñana. En *Teledetección y Medio Ambiente, IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*. Sevilla, pp. 248-250.
- Fabos, J.G. et al.:** 1973. Model for landscape resource assesment-Part I of the "Metropolitan Landscape Planning Model" (METLAND). Univ. of Massachussets at Amsheart, Agricultural Experiment Station. Research Bulletin no. 602, 141 p.
- González-Alonso, F.:** 1982. *El tratamiento de datos en los inventarios de planificación física*. Tesis Doctorales, 31, INIA.
- González-Alonso, F., Cuevas, J.M. y Moro, J.:** 1988. *Aplicación del sistema informático ERAFIS al reconocimiento y clasificación de los usos del suelo en la Provincia de Toledo a partir de imágenes digitales MSS-Landsat 4*. Monografías INIA, 64, Madrid.
- González-Alonso, F., López, S. y Cuevas, J.M.:** 1990. *Influencia de la información contenida en imágenes de satélite sobre la precisión de la estimación de la superficie cultivada en una zona piloto de la Comunidad Autónoma de Navarra*. Monografías INIA, 73, Madrid.
- González-Alonso, F., López, S. y Cuevas J.M.:** 1991. Comparing two methodologies for crop area estimation in Spain using Landsat TM images and ground gathered data. *Remote Sensing of Environment*, 35: 29-35.
- Llamas, R. 1988.:** Conflicts between wetland conservation and ground water explotations: two case histories in Spain. *Environm. Geol. Water Science*, vol. 11, n°. 3: 241-251.
- Magurran, A.E.:** 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Crown Helm, Londres.
- Margalef, R.:** 1969. Diversity and stability. A practical proposal and model of interdependence. En *Brockhaven Symposium of Biology*, 22: 25-37.
- Margalef, R.:** 1974. *Ecología*. Ediciones Omega, Barcelona.
- Noss, R.S.:** 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, vol. 4, n°. 4: 355-364.
- Pielou, E.C.:** 1979. *Biogeography*. Jhon Wiley & Sons, New York.

- Robinove, C.J.:** 1986. Spatial diversity index mapping of classes in grid cell maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 52, nº. 8: 1171-1173.
- Pineda, F.D. 1991.:** Conservación de la naturaleza y diversidad biológica. El caso de España. *Panda*, 36: 19-26
- Shanon, C.E. and Weaver, W.:** 1963. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana.
- Star, J. and Estes, J.:** 1990. *Geographic information systems: an introduction*. Englewoods Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Stoms, D.M. and Estes, J. E.:** 1993. A remote sensing agenda for mapping and monitoring bio- diversity. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 14, nº. 10: 1839-1860.
- Virgos, L. et al.:** 1983. Estudio del funcionamiento hidrogeológico del acuífero Ahmonte-Marismas (sistema nº 27) mediante un modelo digital bidimensional. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, vol. 9: 103-104.
- Willson, E.D.:** (Ed.) 1988. *Biodiversity*. Nat. Acad. Press, Washington.