

ESTRUCTURA ESPACIAL Y FRAGMENTACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD POTENCIAL FORESTAL Y DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE UNA IMAGEN IRS-1C WiFS

J. M. Cuevas, F. González-Alonso y M. Huesca.

Laboratorio de Teledetección, CIFOR-INIA, Crta. A Coruña, km 7,5, 28040 Madrid, cuevas@inia.es

RESUMEN

Se evalúa la estructura espacial del Mapa de la Productividad Potencial Forestal de España en el Parque Natural Los Alcornocales, y de los resultados obtenidos mediante clasificación supervisada del NDVI de una imagen IRS-1C WiFS usando tres macroclases de Productividad Potencial Climática como áreas de entrenamiento. La estructura espacial y la fragmentación de ambas cartografías se analizan y comparan mediante diversos índices. La lógica y la coherencia espacial utilizando WiFS son muy superiores.

ABSTRACT

It is studied the spatial structure of the Map of Forest Potential Productivity of Spain in Los Alcornocales Natural Park, and that of the results obtained through supervised classification of the NDVI of an IRS-1C WiFS image using three macroclasses of Climatic Potential Productivity as training areas. The spatial structure and fragmentation of both cartographies are analyzed and compared using different indexes. The results obtained through the use of the WiFS information show a much greater spatial logic and coherence.

Palabras clave: productividad potencial forestal, alcornocales, área basimétrica, IRS-1C WiFS, NDVI, estructura espacial, fragmentación.

EL MAPA DE LA PRODUCTIVIDAD POTENCIAL FORESTAL DE ESPAÑA

En Coops y White (2003) aparece una revisión sobre la modelización de la productividad forestal con imágenes de satélite. El desarrollo del Mapa de la Productividad Potencial Forestal de España (Sánchez-Palomares y Sánchez-Serrano 2000) comprendió dos etapas. En la primera se elaboró una cartografía de la Productividad Potencial Climática (PPC) para lo que se utilizó el Índice Climático de Paterson, IP, (Paterson 1956), que usa exclusivamente atributos climáticos: temperatura media del mes más cálido, rango anual de temperaturas, un factor de insolación y duración del período vegetativo.

La PPC, en m^3 de madera/ha/año, está relacionada con este índice por la expresión: $PPC = 5,3 \log IP - 7,4$. Se definieron siete clases de PPC que se dividieron en intervalos de media clase, excepto la clase I que se dividió en tres y la clase VII que no se dividió. En la segunda etapa se modificó la PPC en función de los sustratos litológicos utilizando ocho clases litológicas (Serrada 1976) asignándose a cada una un coeficiente corrector de la PPC. Esta cartografía de productividad potencial forestal (PPF) está a escala 1:200 000. El rango de las clases de PPF es 0,75 m^3 de madera/ha/año. En la Tabla 1 aparece la

abundancia de las catorce clases de PPF en España y en el Parque Natural Los Alcornocales (PNLA). La PPF del PNLA (Figura 1a) es bastante alta y superior a la media española, estando presentes seis clases de PPC y once de PPF. Sólo la clase climática VI está ausente.

IMAGEN IRS-1C WiFS UTILIZADA

La imagen IRS-1C WiFS empleada fue captada el 17 de agosto de 1996, y su cubierta nubosa es escasa, y nula sobre el PNLA. Las imágenes WiFS tienen dos bandas, una en el visible (0,62 - 0,68 μ) y otra en el infrarrojo cercano (0,77 - 0,86 μ). Esta imagen ha sido utilizada en otros estudios, como en el PNLA (Cuevas *et al.* 2000a), los pinares de pino piñonero de Barbate (Cuevas *et al.* 2000b) y el pinsapar de Grazalema (Cuevas *et al.* 2005). Un sector de la imagen incluyendo el PNLA fue georeferenciado para lo que se utilizó una digitalización del límite de la provincia de Cádiz, adoptando como tamaño de pixel 180 m. Se usaron 22 puntos de control situados en la costa, obteniéndose un error cuadrático medio de 0,88. El PNLA (Figura 1b) está formado por 52 898 píxeles.

METODOLOGÍA

Para analizar el interés del Mapa de la Productividad Potencial Forestal de España

(MPPFE) como información en base a la que definir las áreas de entrenamiento se agruparon (Tabla 2) las seis clases de PPC presentes en tres macroclases (MCPPC) (Figura 1c). Los NDVI (Tucker 1979) medios de estas tres MCPPC son 0,340, 0,289 y 0,250, disminuyen según la productividad es menor y son significativamente diferentes entre sí respecto al NDVI de WiFS al 99% ($F = 1914,29$). Se clasificó supervisadamente por máxima verosimilitud el NDVI del PNLA usando las tres MCPPC como áreas de entrenamiento. Los NDVI medios de las tres clases obtenidas (Figura 1d) son 0,419, 0,264 y

0,091. Hay una diferencia significativa entre el NDVI de WiFS de estas tres clases al 99% ($F = 3743,41$).

La CHI2 de la tabla resultante de cruzar las MCPPC y los resultados obtenidos utilizando WiFS es 3587,49, mostrando que se puede rechazar la hipótesis de independencia entre ambos a un nivel de confianza del 99%. Sólo 26154 píxeles, 49,44% del PNLA., se han clasificado en la misma clase que la de partida.

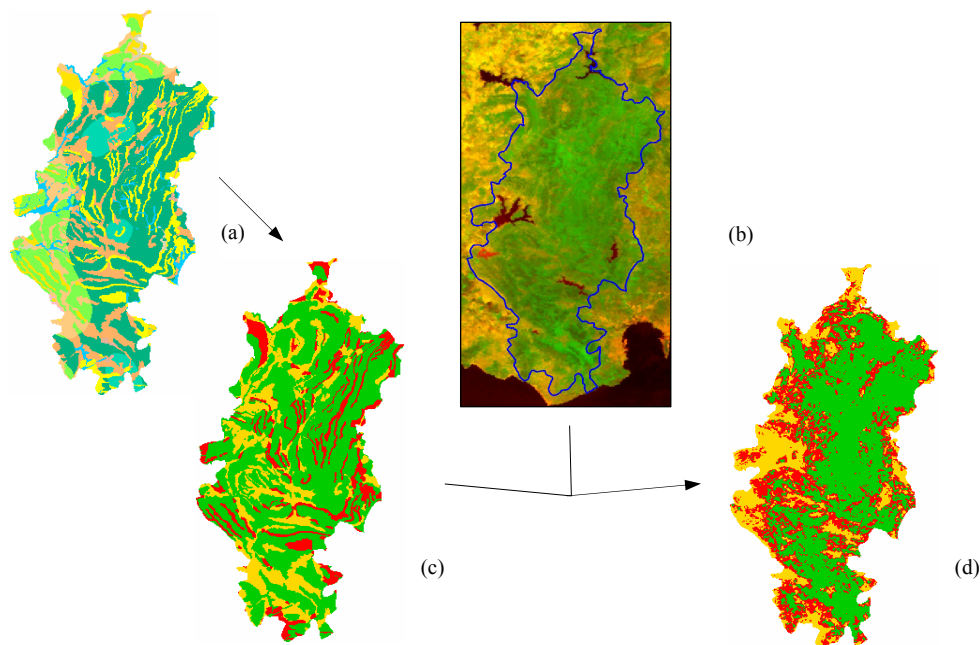


Figura 1. (a) Mapa de la Productividad Potencial Forestal de España en el Parque Natural Los Alcornocales. (b) Sector utilizado de la imagen WiFS, y límite del Parque Natural, en azul. (c) Las tres macroclases de Productividad Potencial Climática empleadas como áreas de entrenamiento. Clase 1 en verde, clase 2 en rojo y clase 3 en ocre. (d) Resultados obtenidos mediante clasificación supervisada del NDVI de WiFS. Iguales colores que (c).

Como parámetro forestal con que evaluar el MPPFE y los resultados obtenidos se ha usado el área basimétrica (AB), suma de las secciones a 1,3 m del suelo de los árboles presentes en las parcelas de campo del Segundo Inventario Forestal Nacional de España (DGCONA 1998). Estas parcelas son de 1996, excepto las 75 de la provincia de Málaga que son de 1995. El AB media en el PNLA es 10,14 m²/ha, y en las tres MCPPC es 10,53, 9,66 y 9,27 m²/ha. Estas clases no son significativamente diferentes entre sí respecto al AB ni al 66% ($F = 1,55$). El AB media de las tres clases

obtenidas utilizando WiFS es 12,21, alta, 6,89, media, y 4,99 m²/ha, baja, decreciendo según las clases corresponden a menor PPC, y es significativamente diferente entre sí al 90% por el método de Fischer y al 95% por los métodos de Student-Newman-Keuls y de Duncan ($F = 52,10$).

La estructura espacial se analiza mediante diversos métodos: colindancia entre clases, distribución del borde del PNLA entre las clases, distancia de cada clase al exterior del PNLA y fragmentación estudiada mediante las manchas

continuas, o teselas, de cada clase. También se analiza en los resultados obtenidos con WiFS la relación entre el número de píxeles vecinos de la misma clase y la frecuencia de píxeles. Siempre se ha utilizado una ventana de 3x3 píxeles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las MCPPC (Tabla 3) hay muchas colindancias entre las dos clases, 1 y 3, no correlativas en su PPC, 45,84% de todas ellas, lo que no es lógico en un área donde los cambios bruscos de relieve no son abundantes. En los resultados obtenidos con WiFS, sólo son 6,18%. El borde del PNLA (Tabla 4) se reparte entre las clases de una forma inversa a la aleatoria en el caso de la clasificación de WiFS y semejante en las MCPPC, siendo un porcentaje del borde muy alto, 58,83%, perteneciente a la clase 3 que es la de menor AB media y menor NDVI medio en el caso de la clasificación de WiFS. La distancia media de las clases al exterior del PNLA (Tabla 5) aumenta según la PPC de origen y el AB son mayores en el caso de la clasificación de WiFS, lo que tiene gran sentido biogeográfico, y sucede lo contrario en las MCPPC.

Los resultados de la clasificación de WiFS tienen una fragmentación bastante mayor, con muchas más teselas en las tres clases. En las MCPPC abundan las teselas de formas lineales, que no se reflejan ni en la imagen WiFS ni en los resultados obtenidos a partir de ella, como ponen de manifiesto su mucho menor tamaño y perímetro medios (Tabla 6). El coeficiente de correlación en este caso entre el número de píxeles vecinos de la misma clase (NumVec) y la frecuencia de píxeles (FrecPix) es 0,797, y en caso de excluir a los píxeles totalmente rodeados por píxeles de su misma clase (NumVec = 8) es 0,987. Si incluyendo a estos píxeles se puede establecer la siguiente relación polinómica ($R^2 = 99,99\%$), que tiene significativo al 95% el término de mayor orden, seis:

$$\text{FrecPix} = 316,293 - 1\,433,63 \text{ NumVec} + 3618,14 \text{ NumVec}^2 - 2240,99 \text{ NumVec}^3 + 666,40 \text{ NumVec}^4 - 92,04 \text{ NumVec}^5 + 4,72 \text{ NumVec}^6$$

CONCLUSIONES

La cartografía de la Productividad Potencial Climática de España es útil para definir las áreas de entrenamiento con las que clasificar una imagen de satélite en un área de vegetación climática y bien conservada. El análisis espacial de esta cartografía y de los resultados obtenidos ha mostrado que en este último caso se han incrementado notablemente la lógica y la coherencia espaciales.

BIBLIOGRAFÍA

Coops N.C. y White J.D., 2003. Modelling forest productivity using data acquired through remote sensing. En: Wulder M. A. and Franklin S.E. (eds.), 2003. *Remote sensing of forest environments: Concepts and case studies*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/Londres.

Cuevas, J. M., Vázquez, A. y González-Alonso F., 2000a. Análisis de la utilidad de la información WiFS del satélite indio IRS-1C para el Inventario Forestal Nacional de España. *Ecología* 14, 169-179.

Cuevas, J. M., González-Alonso, F. y Vázquez, A., 2000b. Estimación de la superficie cubierta por las copas en los pinares de pino piñonero de Barbate (Cádiz) a partir de una imagen IRS-1C WiFS y los datos de campo del Segundo Inventario Forestal Nacional. *Revista de Teledetección* 13, 51-58.

Cuevas, J. M., González-Alonso, F. y Merino, S., 2005. Relación entre la información de una imagen de satélite IRS-1C WiFS y parámetros forestales en el área del pinsapar de Grazalema. *Ecología* 19, 47-58.

DGCONA, 1998. *Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1996*, España. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

Paterson, S.S., 1956. *The forest area of the world and its potential productivity*. Göteborg University. Göteborg.

Sánchez-Palomares, O., y Sánchez-Serrano, F., 2000. Mapa de la Productividad Potencial Forestal de España. *Cartografía digital. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente, Serie Cartográfica*, Madrid. 317 pp + planos.

Serrada, R., 1976. *Método para la evaluación con base ecológica de la productividad potencial de las masas forestales y su aplicación a la España peninsular*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8, 127-150.

Tabla 1. Clases de Productividad Potencial Forestal (PPF) en España y en el Parque Natural Los Alcornocales (PNLA).

Clases de PPF	Productividad Potencial Forestal (m ³ /ha/a)	Superficie en España (ha)	% de la superficie de España	Superficie en el PNLA (ha)	% de la superficie del PNLA
Ia	> 9,00	3 770 846	7,45	7 390,4	4,31
Ib	8,25 - 9,00	1 493 008	2,95	0	0
Ic	7,50 - 8,25	1 911 684	3,78	8 440,2	4,92
IIa	6,75 - 7,50	2 825 674	5,58	68 182,6	39,78
IIb	6,00 - 6,75	3 197 926	6,32	21 785,8	12,71
IIIa	5,25 - 6,00	3 856 003	7,62	20 732,8	12,10
IIIb	4,50 - 5,25	5 330 888	15,53	6 447,6	3,76
IVa	3,75 - 4,50	5 367 275	10,60	24 546,2	14,32
IVb	3,00 - 3,75	8 067 123	15,93	11 952,4	6,97
Va	2,25 - 3,00	8 414 621	16,61	583,2	0,34
Vb	1,50 - 2,25	5 085 710	10,04	213,8	0,12
VIa	1,00 - 1,50	404 328	0,80	0	0
VIb	0,50 - 1,00	128 308	0,25	0	0
VII	< 0,50	778 191	1,54	1 114,6	0,65

Tabla 2. Macroclases de Productividad Potencial Climática (PPC) empleadas como áreas de entrenamiento.

Macroclases de PPC	Clases de PPC	Productividad potencial forestal (m ³ /ha/a)	Número de píxeles en el PNLA	Superficie en el PNLA (ha)	% de la superficie del PNLA
1	I, II	> 6,00	32 654	117 554,4	61,73
2	III	> 4,50 - < 6,00	8389	30 200,4	15,86
3	IV, V, VII	< 4,50	11 855	42 678,0	22,41

Tabla 3. Colindancia entre las macroclases de PPC empleadas, y entre las clases obtenidas mediante clasificación del NDVI de WiFS. Filas: clase que colinda con la clase de la columna. AB: Área basimétrica.

Macroclases de PPC (m³/ha/a)			Clasificación del NDVI de WiFS			
1. > 6,0		2. 4,5 - 6,0	3. < 4,5	1. AB alta	2. AB media	3. AB baja
1	-	5147, ± 47,23%	5750, ± 52,77%	-	10735, ± 92,88%	823, ± 7,12%
2	6056, ± 80,54%	-	1463, ± 19,46%	9278, ± 59,06%	-	6432, ± 40,94%
3	6125, ± 81,79%	1364, ± 18,21%	-	778, ± 12,57%	5413, ± 87,43%	-

Tabla 4. Distribución del borde del PNLA entre las macroclases de Productividad Potencial Climática (PPC) empleadas y entre las clases obtenidas mediante clasificación del NDVI de WiFS. AB: Área basimétrica.

	Macroclases de PPC (m ³ /ha/a)			Clasificación del NDVI de WiFS		
	1. > 6,0	2. > 4,5 y < 6	3. < 4,5	1. AB alta	2. AB media	3. AB baja
Porcentaje de la clase que es de borde	3,03	6,81	4,43	1,07	3,84	11,86
Porcentaje aleatorio del borde	61,73	15,86	22,41	52,87	27,54	19,59
Porcentaje real del borde	47,44	27,38	25,18	14,36	26,81	58,83

Tabla 5. Distancia media al exterior del PNLA de las macroclases de Productividad Potencial Climática (PPC) empleadas y de las clases obtenidas mediante clasificación del NDVI de WiFS. AB: Área basimétrica.

Macroclases de PPC			Clasificación del NDVI de WiFS		
m ³ /ha/a	Distancia media de las clases		Clase	Distancia media de las clases	
1. > 6,0	1,94 píxeles	348,8 m	1. AB alta	5,64 píxeles	1015,2 m
2. > 4,5 y < 6	3,90 píxeles	701,6 m	2. AB media	2,05 píxeles	369,0 m
3. < 4,5	6,06 píxeles	1091,5 m	3. AB baja	1,21 píxeles	217,8 m

Tabla 6. Teselas de las macroclases de Productividad Potencial Climática (PPC) empleadas y de las clases obtenidas mediante clasificación del NDVI de WiFS.

Clase	Macroclases de PPC			Clasificación del NDVI de WiFS		
	Número de teselas	Tamaño medio de las teselas (ha)	Perímetro medio de las teselas (m)	Número de teselas	Tamaño medio de las teselas (ha)	Perímetro medio de las teselas (m)
1	86	1 230,22	15 148,6	207	437,76	5 671,5
2	143	190,07	8 418,8	453	104,19	4 856,3
3	96	400,11	12 168,1	299	112,28	3 852,4
PNLA	325	527,35	11 307,1	959	178,72	4 719,3