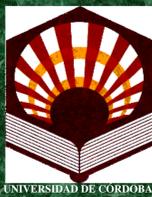


MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE *PISTACIA LENTISCUS* EN SIERRA MORENA (P.N DE ANDÚJAR) MEDIANTE ANÁLISIS ENFA



Porrás Alonso, R.¹, Muñoz Álvarez, J.M.¹, Patiño Beltrán, M.², Quijada Muñoz, J.², Moreira Madueño, J.M.²

¹Dpto. Biología Vegetal, Div. Botánica. Universidad de Córdoba

²Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía



Introducción

El lentisco (*Pistacia lentiscus* L., Fig. 1) es una especie de amplia distribución dentro de la región mediterránea cuyo hábitat parece estar limitado, entre otros factores, por factores de tipo térmico. Como método de delimitación bioclimática en campo, es habitualmente utilizada la presencia de especies bioindicadoras. En este sentido *Pistacia lentiscus* parece ser una buena indicadora del piso mesomediterráneo inferior, permitiendo diferenciar el límite entre éste y el mesomediterráneo superior.

En las últimas décadas el desarrollo de numerosas herramientas SIG y técnicas estadísticas potentes está permitiendo generar modelos predictivos de distribución de hábitats de especies. Técnicas multivariantes habituales en la creación de estos modelos son p. ej. las regresiones lineales, análisis discriminantes, modelos GLM (entre los que se encuentran las regresiones logísticas), modelos GAM, etc. No obstante, dichas técnicas requieren habitualmente para su aplicación datos de presencia/ausencia. Una alternativa a estas técnicas que no requiere datos de ausencia es el análisis ENFA (Ecological Niche Factor Analysis, Hirzel et al. 2002). Con dicha técnica se compara en el espacio multidimensional de las variables ecológicas empleadas, la distribución de las localidades donde se ha observado la especie respecto a la distribución presente en todo el ámbito de estudio.

El presente estudio tiene entre otros los siguientes objetivos: (1) determinar qué variables ambientales influyen más sobre la distribución del lentisco, particularmente el régimen de temperaturas y (2) la creación de un mapa de distribución potencial del lentisco en los ENP de Sierra Morena, a partir de dichas variables.

Como estudio preliminar y partiendo de 132 puntos de muestreo con presencia de lentisco en el P.N. de Andújar, se ha desarrollado un modelo de distribución de dicha especie para este E.N.P. empleando la técnica de análisis ENFA.

Materiales y Métodos

Datos de presencia:

Se han utilizado un total de 132 puntos de presencia de lentisco generados a partir de los estudios de Cartografía de Vegetación realizados a escala 1:10000 en el P.N. Andújar (años 2002-2003, acuerdo específico UCO-CMA, Junta de Andalucía) (Fig. 2).

Variables analizadas:

Inicialmente se trabajó con un total de 15 variables (Tabla 1, Figs. 3 y 4). La información de las variables climáticas (grids con 100 m de luz) ha sido generada mediante interpolación a partir de los datos mensuales de 60 estaciones meteorológicas del INM en el territorio andaluz en el caso de las precipitaciones y 64 en el de temperatura, serie de los años 1961-1990. Los modelos se han obtenido por la CMA mediante análisis de regresión múltiple teniendo en cuenta las coordenadas de posición, altura y ponderación de la orientación de cada estación.

Cobertura de usos (Usos), desarrollada a partir de la cartografía de vegetación a escala 1:10000 del P.N. Andújar y reordenada con carácter semicuantitativo según criterios de cobertura del matorral y resto de estratos, y el desarrollo vertical de la cubierta vegetal (0: zonas sin vegetación natural, 1: espacios abiertos sin o con poca vegetación 2: pastos, 3: pastos y/o cultivos herbáceos con arbolado, 4: matorral disperso y ripario, 5: matorral disperso con arbolado, 6: zonas forestales y arbolado ripario, 7: matorral denso y 8: matorral denso con arbolado).

Análisis ENFA (Ecological Niche Factor Analysis)

A partir de las variables anteriormente mencionadas en formato ráster y unificadas a un tamaño de luz de 20 m se ha realizado un análisis ENFA (Biomapper 3.1, Hirzel et al. 2004). Similar a un PCA, a partir de las variables ambientales originales se generan 2 tipos de factores no correlacionados: marginalidad, que representa positiva o negativamente la desviación de los valores medios de las variables estudiadas relativas a los puntos donde se presenta la especie, respecto a los valores medios de dichas variables en todo el territorio, y especialización, que representa la razón SD de la especie/SD global.

A partir de la matriz de correlación de las variables realizadas con el ENFA en un estudio previo y con el propósito de simplificar el análisis se desecharon aquellas variables que presentaban información redundante. En el modelo final se utilizaron un total de cinco variables: T mn ene, P anu, altitud, pendiente y usos. Aunque se realizó una transformación Cox-Box con objeto de normalizar en la medida de lo posible las variables de partida, los resultados no fueron mejores que con las variables originales, por lo que se desechó el uso de las variables transformadas. No obstante, hay que indicar que el ENFA parece bastante robusto respecto a las desviaciones relativas a una distribución normal (Glass and Hopkins, 1984).

A partir de los cuatro primeros factores generados en el ENFA se ha obtenido un mapa de distribución de la especie utilizando el algoritmo de medianas (Biomapper 3.1).

El mapa de distribución así obtenido se ha evaluado mediante validación cruzada siguiendo el método de Boyce et al. 2002, y que está incluido en Biomapper 3.1. Se han utilizado los parámetros incluidos por defecto en el programa, 10 grupos de validación cruzada con 4 bins. Como método para medir el grado de monotonía de la curva obtenida se ha realizado un análisis de correlación de Spearman de las frecuencias de área ajustada (F).



Fig. 1. *Pistacia lentiscus* L.

Variables ecogeográficas	Media <i>P. lentiscus</i>	SD <i>P. lentiscus</i>	Media global P.N. Andújar	SD P.N. Andújar
ETP	817,22	23,556	809,64	27,091
It	306,74	18,636	301,78	19,903
Altitud	552,56	128,43	590,8	136,47
P anu	653,36	60,674	669,12	65,32
Pendiente	18,264	8,0776	12,295	11,258
P inv	274,73	25,808	282,78	28,504
P otoño	164,14	12,928	167,54	15,722
P prim	186,87	16,639	191,2	9,312
P verano	45,574	3,8837	46,411	8,2475
T med	16,036	0,57871	15,862	0,63303
T enero	7,2016	0,65116	7,0405	0,68802
T julio	27,066	0,4144	26,916	0,46886
T mn ene	2,409	0,59472	2,251	12,396
T mx ene	12,229	0,70273	12,049	0,74914
Usos	6,553	1,5826	5,3647	2,2708

Altitud, en m, a partir del modelo digital del territorio de toda Andalucía con 20 m de resolución. Pendiente, derivada a partir del modelo digital del territorio. Variables climáticas: Precipitación media anual, en mm (P anu); Precipitación media en invierno, en mm (P inv); Precipitación media en otoño, en mm (P otoño); Precipitación media en primavera, en mm (P prim); Precipitación media en verano, en mm (P verano); Temperatura media anual, en °C (T med); Temperatura media del mes más frío, en °C (T mn ene); Temperatura media del mes más cálido, en °C (T julio); Temperatura media de las máximas del mes más frío, en °C (T mx ene); Evapotranspiración potencial (ETP), calculado según la definición de Thornthwaite (CMA Andalucía, 2003). Índice de Termicidad (It). Definida como (T med + T mx ene + T mn ene) x 10 (Rivas-Martínez, 1996). Cobertura de usos (Usos).

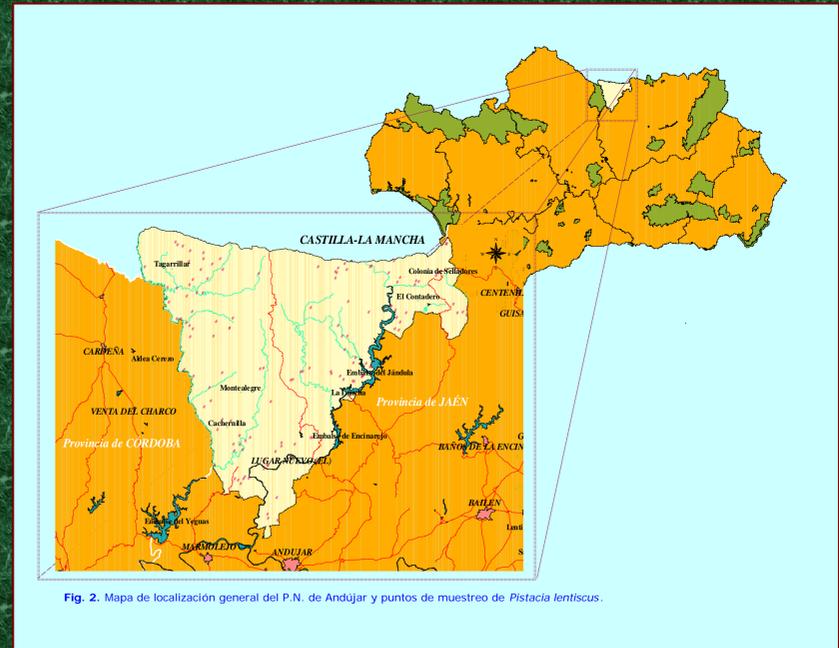


Fig. 2. Mapa de localización general del P.N. de Andújar y puntos de muestreo de *Pistacia lentiscus*.

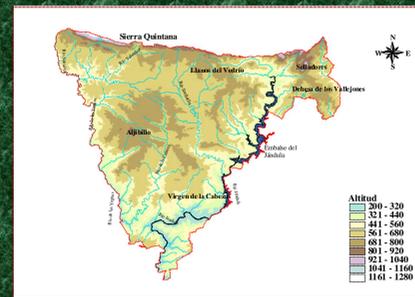


Fig. 3. Variable altitud en el P.N. Andújar, a partir del DTM de Andalucía.

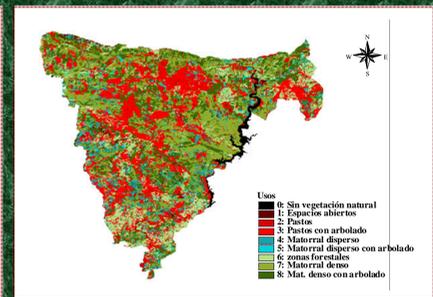


Fig. 4. Variable semicuantitativa de usos del P.N. Andújar.

Tabla 2. Análisis de correlación entre las 15 variables ambientales analizadas.

	ETP	It	Altitud	P anu	Pendiente	P inv	P otoño	P prim	P verano	T med	T enero	T julio	T mn ene	T mx ene	Usos
ETP	1,000	0,963	-0,981	-0,885	0,161	-0,969	-0,858	-0,921	-0,878	0,988	0,944	0,956	0,944	0,942	-0,097
It	0,963	1,000	-0,990	-0,950	0,152	-0,959	-0,919	-0,981	-0,973	0,991	0,998	0,846	0,994	0,997	-0,107
Altitud	-0,981	-0,990	1,000	0,934	-0,159	0,965	0,907	0,965	0,942	-0,996	-0,981	-0,895	-0,976	-0,982	0,106
P anu	-0,885	-0,950	0,934	1,000	-0,146	0,946	0,995	0,992	0,973	-0,939	-0,949	-0,773	-0,927	-0,965	0,110
Pendiente	0,161	0,152	-0,159	-0,146	1,000	-0,160	-0,144	-0,149	-0,139	0,158	0,148	0,159	0,147	0,149	0,224
P inv	-0,969	-0,959	0,965	0,946	-0,160	1,000	0,934	0,960	0,912	-0,976	-0,944	-0,913	-0,937	-0,948	0,105
P otoño	-0,858	-0,919	0,907	0,995	-0,144	0,934	1,000	0,976	0,948	-0,913	-0,915	-0,761	-0,888	-0,937	0,108
P prim	0,921	-0,981	0,965	0,992	-0,149	0,960	0,976	1,000	0,988	-0,967	-0,980	-0,890	-0,966	-0,989	0,111
P verano	-0,878	-0,973	0,942	0,973	-0,139	0,912	0,948	0,988	1,000	-0,940	-0,982	-0,718	-0,971	-0,987	0,111
T med	0,988	0,991	-0,996	-0,939	0,158	-0,976	-0,913	-0,967	-0,940	1,000	0,981	0,908	0,976	0,982	-0,104
T enero	0,944	0,998	-0,981	-0,949	0,148	-0,944	-0,915	-0,980	-0,982	0,981	1,000	0,810	0,997	0,998	-0,108
T julio	0,956	0,846	-0,895	-0,773	0,159	-0,913	-0,761	-0,800	-0,718	0,908	0,810	1,000	0,806	0,813	-0,080
T mn ene	0,944	0,994	-0,976	-0,927	0,147	-0,937	-0,888	-0,966	-0,971	0,976	0,997	0,806	1,000	0,990	-0,107
T mx ene	0,942	0,997	-0,982	-0,965	0,149	-0,948	-0,937	-0,989	-0,987	0,982	0,998	0,813	0,990	1,000	-0,109
Usos	-0,097	-0,107	0,106	0,110	0,224	0,105	0,108	0,111	0,111	-0,104	-0,108	-0,080	-0,107	-0,109	1,000

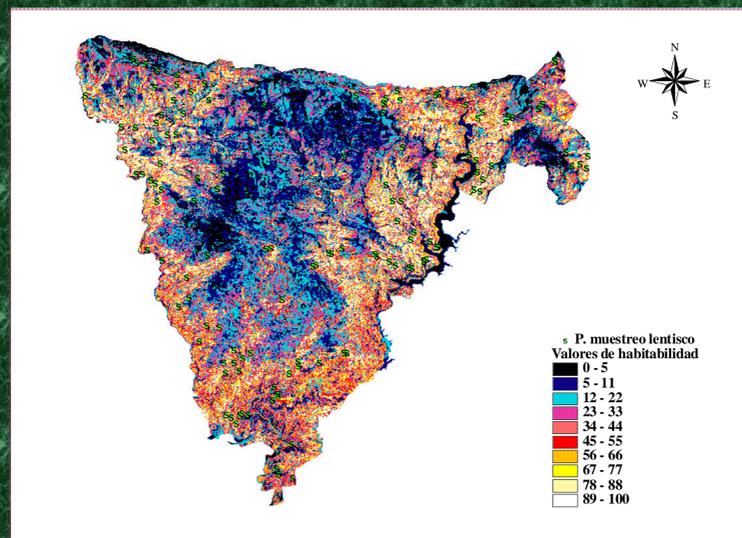


Fig. 5. Mapa de distribución de *P. lentiscus* en el P.N. Andújar mediante análisis ENFA. Variables (T mn ene, P anu, altitud, pendiente y usos). 132 puntos de presencia de *P. lentiscus*.

Fig. 6. Evaluación del mapa de distribución de *P. lentiscus* mediante validación cruzada. Valores medios de F (±SD) para los cuatro bins utilizados.

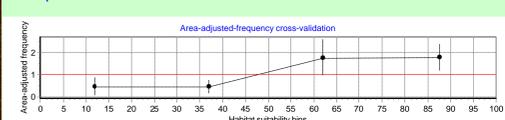


Tabla 3. Varianza explicada por los cinco factores obtenidos mediante ENFA.

Variables	Marginalidad (31.5%)	Espec.1 (22.9%)	Espec.2 (17.9%)	Espec.3 (15.7%)	Espec.4 (12%)
Altitud	-0,290	-0,481	0,891	0,790	-0,279
P anu	-0,250	-0,232	-0,186	-0,317	-0,533
Pendiente	0,710	0,278	0,393	0,034	-0,079
T mn ene	0,237	-0,669	-0,113	0,523	-0,793
Usos	0,542	-0,436	-0,074	0,003	0,054

Resultados y Discusión

Análisis de las variables ambientales

Si se comparan los valores medios de las variables analizadas entre los puntos de muestreo donde apareció *P. lentiscus* y los valores medios de esas mismas variables para el territorio en su globalidad (Tabla 1) se observa que la evapotranspiración (ETP), Índice de termicidad (It), las variables de temperatura (T med, T ene, T julio, T mn ene, T mx ene), Pendiente y la variable Usos presentan una media más elevada para los puntos donde se presenta el lentisco.

Por el contrario la Altitud media y los valores medios de precipitación (P anu, P inv, P otoño, P prim y P verano) son menores respecto a la media global de dichas variables en el P.N. de Andújar.

Análisis de correlación

En la tabla 2 se recoge la matriz de correlación de las variables analizadas. Las variables de temperatura (T med, T ene, T julio, T mn ene, T mx ene), It y ETP, presentan entre sí un alto grado de correlación. Dicha correlación también es alta aunque inversa respecto a los valores de precipitación. Por el contrario, los valores de correlación para las variables Pendiente y Usos son claramente menores entre ellas y el resto de variables.

ENFA

La realización del análisis ENFA sobre las cinco variables (T mn ene, P anu, altitud, pendiente y usos) finalmente utilizadas para la obtención de un mapa de distribución del lentisco, muestran un valor de marginalidad global $M = 0,49$, y un valor de especialización $S = 1,13$. Dichos valores (marginalidad relativamente baja y especialización próxima al valor 1) indican que las condiciones ambientales donde se desarrolla *P. lentiscus* son hasta cierto punto similares a las características ambientales preponderantes en el territorio y además no son demasiado restrictivas dentro del contexto del territorio analizado.

Los tres primeros factores del ENFA suponen 72.3% de la suma total de los autovalores (Tabla 3). El primer factor (marginalidad con autovalor de 31.5%) presenta unos coeficientes de marginalidad positivos para la pendiente (0.71), Usos (0.54) y T mn ene (0.24), que indican que a pesar de presentar una marginalidad baja respecto a las características ambientales dominantes en el territorio, el lentisco tiende a ver favorecida su presencia en zonas con cierta pendiente y con predominio de matorral. Los valores negativos de altitud y precipitación media anual indican que el lentisco se desarrolla a cotas de altitud algo más bajas y de precipitación menor respecto a los valores globales del territorio.

Respecto al resto de factores, que recogen la especialización, hay que señalar que en el caso del segundo de los factores (primero de especialización con un autovalor de 22.9%) destaca el coeficiente alcanzado por T mn ene (-0.67) y altitud (-0.48). Estos valores suponen que el lentisco presenta un rango de distribución menor para estas variables, y por tanto indican cierta sensibilidad a los cambios respecto a su óptimo.

Mapa de distribución de *P. lentiscus*

En la Fig. 5 se muestra la distribución del lentisco en el P.N. de Andújar generada a partir de los cuatro primeros factores obtenidos en el ENFA. Se observa que las zonas con menor probabilidad de que aparezca lentisco (valores de habitabilidad inferiores a 5) coinciden por una parte con aquellas partes del territorio con cotas de altitud más elevada (por encima de los 800 m): Sierra Quintana, Selladores y Aljibillo, donde los valores de temperatura media son más bajos, y por otra, en aquellas donde la cobertura de matorral es baja o nula, como son las zonas adeshadas de los Llanos del Vedrio y Dehesa de los Vallejones y las cotas del embalse del Jándula.

Por el contrario las zonas con valores de habitabilidad más elevada (valores superiores a 80) coinciden fundamentalmente con aquellas partes del territorio por debajo de los 600 m de altitud, con cierta pendiente, y que además presentan una cubierta vegetal con matorral denso, con o sin arbolado, como son las lomas y valles adyacentes al Yeguas y al Jándula.

Evaluación del mapa de distribución mediante validación cruzada

En la Fig. 6 se recoge la curva (media ± SD) de las frecuencias de área ajustada (F) de 10 grupos de validación cruzada con 4 bins cada una. Se ha encontrado que los 2 bins con valores de habitabilidad baja (bin1: 0-25 y bin2: 25-50) presentan un valor medio F1: 0.47 y F2: 0.47 (inferiores a 1), mientras que los bins con valores de habitabilidad más elevada (bin3: 50-75 y bin4: 75-100) presentan valores F3: 1.74 y F4: 1.75 (superiores a 1), adquiriendo la curva así obtenida una forma sigmoidal, que unido al coeficiente de correlación de Spearman 0.72 obtenido para dichos valores de F parecen indicar un carácter predictivo razonable para el mapa obtenido de distribución del lentisco.

Conclusión

Los resultados obtenidos mediante el análisis ENFA arrojan un valor de marginalidad bajo, indicando así que *P. lentiscus* se desarrolla bajo unas características ambientales similares a las preponderantes dentro del territorio estudiado. No obstante, dicha especie se presenta a altitudes que oscilan entre los 250-800 m, evitando las cotas más elevadas, donde los regímenes de temperatura son más bajos. Su presencia se ve además favorecida en aquellas partes del territorio donde dominan las formaciones de matorral denso sin arbolado, o con arbolado disperso. El ENFA, por tanto, se presenta como una alternativa interesante, como método para generar modelos de distribución de especies con datos de presencia.

Bibliografía

- Boyce, M.S., P.S. Vernier, S.E. Nielsen, and F.K.A. Schemingelow. 2002. Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling* 157: 281-300
- Consejería de Medio Ambiente de Andalucía. 2003. Instrumentos de planificación, información e indicadores de seguimiento para el desarrollo de la estrategia andaluza ante el cambio climático: el subsistema de información de climatología ambiental. 3ª fase. Capítulo 3, págs. 33-64. Sevilla.
- Glass, G.V., and K.D. Hopkins 1984. Statistical methods in education and psychology. Second edition. Prentice Hall, London. UK.
- Hirzel, A.H., J. Hausser, & N. Perrin. 2002. Ecological-Niche Factor Analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology* 83 (7): 2027-2036.
- Hirzel, A.H., J. Hausser, & N. Perrin. 2004. Biomapper 3.0. Division of Conservation Biology, University of Bern. URL: <http://www.unil.ch/biomapper>.
- Rivas-Martínez, S. 1996. Clasificación bioclimática de la tierra. *Folia Botanica Matritensis* 16: 1-33.