APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA ELECCIÓN DE ESPECIE EN LA FORESTACIÓN DE TERRENOS AGRÍCOLAS DE LA MANCHA

A. MOROTE [1]; E. OROZCO [1]; F. LÓPEZ [1]; A. DEL CERRO [1]; M. ANDRÉS [1];
M. SELVA[1]; J. BRIONGOS[1]; R. NAVARRO[1].

[1]Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Campus Universitario s/n. 02071. Albacete
e-mail: *fagarcia@agr-ab.uclm.es*

RESUMEN

Ha sido utilizado un SIG (Sistema de Información Geográfica) para planificar las forestaciones de tierras agrarias en quince términos municipales de la comarca de La Mancha. Se han elegido las especies principales (*Quercus ilex, Pinus pinea, Pinus halepensis*, solas o en diferentes porcentajes de mezcla) para cada ha del territorio, atendiendo a la potencialidad que presentan en función de las características edáficas y climáticas de cada zona. Para ello, se ha aplicado un modelo probabilístico de existencia de especies, tomando como referencia el suelo y el clima sobre el que habitan de forma natural. Se comentan las ventajas y los inconvenientes del método utilizado.

Palabras clave: SIG, forestación, elección de especies, La Mancha

SUMMARY

The abandoned farmlands afforestation planning in La Mancha (one of the vastest natural and geographical area in Spain), have been supported by means of a GIS. Fifteen townships has been selected into this area, whose soil class and climate has been determined in each one. The forest species employed in this project are *Quercus rotundifolia*, *Pinus pinea* and *Pinus halepensis*, (indigenous in this area) under various combinations of plantation (since pure to several levels of mixture between them) in square plots of 1 ha. With the advanced ecological knowledge of such three forest species, in conjunction with the soil and climate data, we have carried out a probabilistic model to determine the probability of distribution and success of each kind of forest plantation. Advantages and difficulties of this model are commented in this paper.

Key words: GIS, afforestation, suitable species, La Mancha

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, conforme los medios informáticos se han ido haciendo más accesibles y utilizados, los trabajos de gestión de las áreas forestales han podido ser abordados de forma más eficiente y con una mayor precisión. Dentro de éstos medios, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son actualmente unas herramientas idóneas para abordar los estudios del medio de forma integral (SÁNCHEZ *et al.*, 1.999; BURRIEL *et al.*, 2000; ATAURI *et al.*, 2.000; IBÁÑEZ *et al.*, 2.000). Como una más de sus múltiples aplicaciones en el sector forestal, contemplamos la planificación de las forestaciones de grandes áreas agrícolas. Algunas de esas zonas pueden presentar riesgos de erosión y de desertización, debidos al abandono del cultivo de las tierras a causa de su escasa rentabilidad y de las políticas agrarias. Para evitar esos problemas, han sido puestos en marcha grandes programas de forestación, el más reciente en Castilla-La Mancha promulgado por el R.D. 152/96. En las forestaciones realizadas se han venido observando deficiencias, algunas de ellas derivadas de la incorrecta elección de especies: ubicándolas en terrenos que no les corresponden (grandes marras y/o fracaso de la plantación), o empleando una sola a modo de cultivo extensivo. Con el objetivo de planificar las forestaciones en 15 términos municipales de La Mancha, que pueden presentar los problemas ambientales derivados del abandono de tierras agrícolas, se describe en este trabajo una metodología de elección de especies mediante un SIG, teniendo en cuenta los factores de potencialidad y biodiversidad de las futuras áreas forestales creadas.

METODOLOGÍA

La comarca planificada comprende los términos municipales de Villarrobledo, Minaya, Munera, San Clemente, Las Mesas, El Provencio, Las Pedroñeras, Mota del Cuervo, Tomelloso, Campo de Criptana, Socuéllamos, Pedro Muñoz, El Toboso, Quintanar de la Orden y Miguel Esteban, todos ellos pertenecientes a la comarca de La Mancha, con una superficie total aproximada de 340.000 ha (Figura 1).

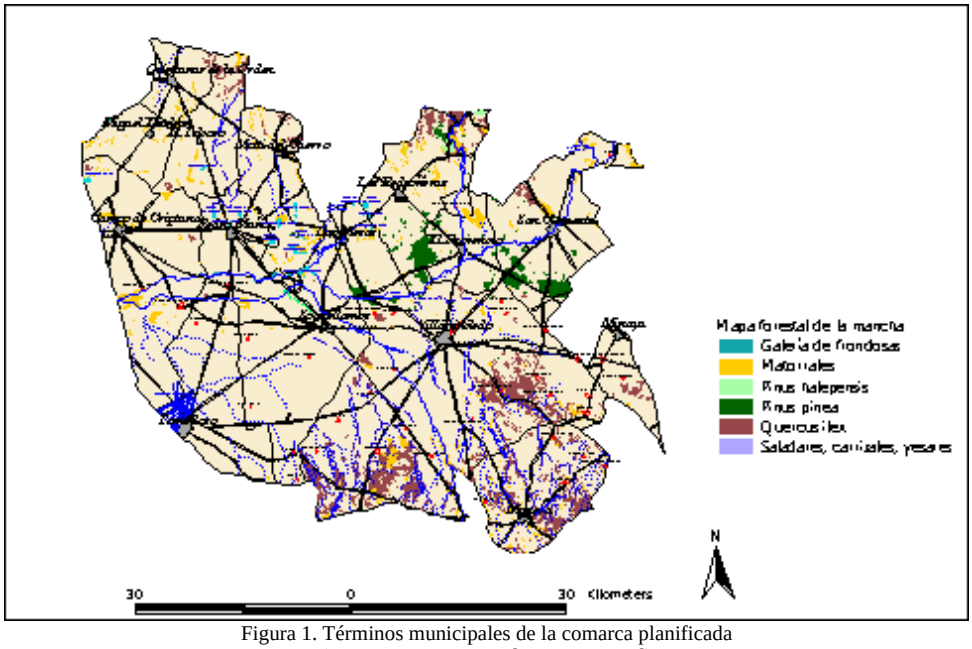


Figura 1. Términos municipales de la comarca planificada
(aparece superpuesto el Mapa Forestal)

La primera fase de la planificación de las forestaciones consistió en definir mediante cartografía E 1:200.000, las variables que se incluirían en los modelos de distribución de la vegetación. Estas variables fueron divididas en dependientes e independientes, con el fin de someterlas a tratamiento estadístico con posterioridad.

Como variables dependientes se constituyeron las especies forestales principales de La Mancha: *Quercus ilex*, *Pinus pinea* y *Pinus halepensis*. Su representación cartográfica se realizó tomando como base el Mapa Forestal de España (RUIZ DE LA TORRE, 1.990), en su versión digital. Para ello, fue confeccionada mediante el software ArcView 3.1 (ESRI Inc., 1.996) una capa vectorial, en la que además se incluían las teselas ocupadas por matorrales, galerías de frondosas, así como saladares, carrizales y yesares (Figura 1). Las bases de datos asociadas a la vegetación contienen abundante información sobre superficies de teselas, especies secundarias, cabidas y alturas.

Como variables independientes fueron seleccionadas el suelo (tipologías según nomenclatura FAO, 1.988) y clima, puesto que el factor altitud no es discriminante en La Mancha. La cartografía de suelos se realizó en formato vectorial, con el mismo software y a la misma escala, tomando como base los trabajos edafológicos realizados en el Proyecto EFEDA II (SANTA OLAYA, 1.995). Las capas de información climática se realizaron partiendo de la información termopluviométrica de 11 estaciones de la zona de estudio o limítrofes, siendo calculadas dos tipos de variables:

a)variables fitoclimáticas, según la metodología de ALLUE ANDRADE (1.990): precipitación anual, temperatura media anual, factores de sequía A y K, precipitación estival, temperaturas máximas y mínimas, y subtipo fitoclimático. El tratamiento de los datos termopluviométricos se realizó mediante el software CLIMOAL (MANRIQUE, 1.993)

b) variables bioclimáticas, según los Diagramas Bioclimáticos de Montero de Burgos y González Rebollar (1.983): Intensidades bioclimáticas potenciales (IBP), reales (IBR), libres (IBL), condicionadas (IBC) y secas (IBS). Los cálculos se realizaron bajo dos hipótesis: H1; CR=0, W=0 (suelos de escasa retención de agua, sin pendiente) y H2; CR=100, W=0 (suelos con buena retención de agua, sin pendiente).

La cartografía resultante era vectorial (puntual), por lo que para posibilitar el posterior cruce de información hubo que rasterizarla, aplicando el algoritmo de interpolación IDW (distancia inversa ponderada; resolución 1 ha). El resto de las variables construidas también fueron rasterizadas a la misma resolución, siendo exportados los ficheros muestrales al software de tratamiento de datos STATGRAPHICS ver.2.1 (Statistical Graphics Corp.,1.997), registrando para cada ha la presencia o ausencia de la formación forestal principal, así como los valores de las diferentes variables

independientes.

El tratamiento estadístico de las variables fue realizado mediante una regresión logística multivariable, que determinó un algoritmo de probabilidades de existencia para cada una de las especies principales, como una función de las variables edáficas y climáticas significativas. La selección de las variables significativas en el modelo se realizó por pasos, eliminándose en cada uno de ellos las de menor significación (coeficientes p>0.01; 99 % de probabilidad). La bondad de los ajustes se realizó comprobando p-value de los coeficientes, el test de χ^2, y el porcentaje de aciertos y fallos en el pronostico de casos (verdaderos o falsos), tomando como punto de corte el valor de 0.5.

La implementación de los modelos en el SIG generó las nuevas capas cartográficas de probabilidades de existencia, una por especie, para cada hectárea del territorio. La ley de mezclas final (también por ha) fue obtenida mediante suma de las capas de probabilidad, suponiendo que el porcentaje de cada especie podría ser estimado por su grado de potencialidad. Los valores de las mezclas resultantes fueron referidos a rangos estándar para dotarlos de mayor practicidad. Por razones de temperamento, en los casos en que *Quercus ilex* aparecía como única especie potencial, y sobre todo si sus valores de potencialidad eran bajos, se decidió incluir a los pinos enlas mezclas (en especial *Pinus halepesis*), en un porcentaje proporcional al valor de probabilidad estimado para la encina (a menor porcentaje de probabilidad de ésta, mayor porcentaje de mezcla de pinos).

RESULTADOS

Fue obtenida la distribución potencial de cada especie arbórea principal representativa de la comarca de La Mancha, de acuerdo a los parámetros edáficos y climáticos que definen cada hectárea del territorio. Las regresiones logísticas ajustadas para cada especie presentan la forma $y= e^z/(1+e^z)$, donde z es el exponente estimado como función de las variables del medio que resultaron significativas: intensidad bioclimática libre bajo la hipótesis 1 (IBL1), intensidad bioclimática seca (IBS), precipitación estival (P.estival) y tipo de suelo (Tabla 1). Se aprecia como los valores de porcentajes de aciertos para los modelos ajustados han sido altos para *Pinus pinea* y *Quercus ilex.*

Tabla 1. Coeficientes de la regresión de la función z
en los modelos logísticos y $=e^z/(1+e^z)$, para cada especie

Parámetros	*Quercus ilex*	*Pinus pinea*	*Pinus halepensis*
constante	-40.06	20.51	7.80
IBL1	1.43	11.42	13.43
IBS	5.04	-58.42	-52.95
P.estival	1.83	-0.39	-0.44
Calcaric fluvisols	11.81	12.97	14.49
Calcaric regosols	11.94	12.27	14.19
Lhitic leptosols	14.98	7.97	13.25
Eutric leptosols	13.88	1.77	1.95
Calcaric cambisols	13.34	13.26	0.99
Eutric leptosols	0.28	21.66	0.13
Petric calcisols	13.86	14.96	10.83
Haplic calcisols	13.49	12.87	11.80
Calcic luvisols	12.31	11.56	-0.87
Chromic luvisols	17.78	0.55	0.27
Luvic arenosols	8.90	18.81	-1.29
Calcaric arenosols	11.31	15.38	-0.95
Calcic solonchaks	0.41	12.64	-0.17
Gypsic solonchaks	0.78	-1.48	-1.31
Punto de corte	0.50	0.50	0.50
% aciertos total	81.77	98.72	70.51

La representación de los valores de probabilidad en el SIG permite apreciar el área potencial de cada especie para la zona estudiada (Figura 2).

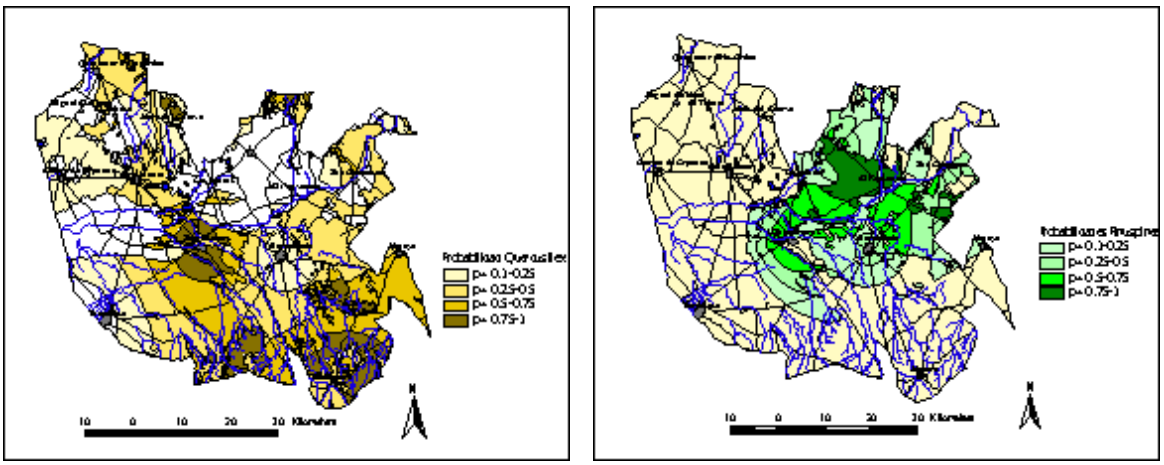


Figura 2. Probabilidades de existencia para *Quercus ilex* y *Pinus pinea*

Es reseñable que la especie con mayor potencialidad sea la encina, con una superficie doble que la de *Pinus pinea. Pinus halepensis* aparece con un área potencial muy reducida (Tabla 2).

Tabla 2: Superficie potencial estimada para cada especie

Especie / ***Probabilidades***	*Quercus ilex* *(ha)*	*Pinus pinea* *(ha)*	*Pinus halepensis* *(ha)*
0.1-0.25	65.817	44.130	5.542
0.25-0.50	95.765	29.200	4.351
0.50-0.75	53.584	22.652	2.651
0.75-1	31.708	14.227	1.225

Para *Quercus ilex* ha sido estimada su mayor potencialidad en las áreas suroriental y central de la comarca planificada. Estas zonas presentan suelos calizos, frecuentemente con costras calizas (*Petric calcisols)*, y en ellas se han registrado las menores precipitaciones estivales de la zona. El análisis espacial para *Pinus pinea* nos sugiere que es baja su potencialidad en esas zonas, al contrario que en el norte, en la que los suelos dominantes son arenales (*Calcaric arenosols* y *Luvic arenosols*), y en donde las funciones logísticas parecen separar los hábitats potenciales de una y otra especie. En las orlas de transición de las dos especies, parece lógico que ambas pudieran tener un hábitat común (de ahí su inclusión como integrantes de las mezclas de muchas forestaciones planteadas), prevaleciendo *Pinus pinea*cuanto más nos desplacemos hacia el noreste, y apareciendo la encina como especie más probable hacia el Sur. En el caso de *Pinus halepensis*, el modelo logístico reflejó un área potencial de existencia de esta especie muy pequeña, sin duda mucho menor a la que en realidad podría albergar a una especie tan frugal: ello es debido a la escasez de masas naturales de *Pinus halepensis* en la zona estudiada. La falta de muestras uniformemente repartidas representa uno de los mayores inconvenientes del método utilizado, pues no es posible modelizar formaciones que tengan poca representación en un territorio determinado. También fueron detectadas algunas zonas donde no fueron estimados valores de probabilidad para ninguna de las especies, pues presentaban características de suelo o de clima que no habían sido recogidos en las teselas de las formaciones forestales. En este caso se optó por emplear las especies seleccionadas para las áreas circundantes.

Las porcentajes finales de mezclas de las especies elegidas y sus superficies aparecen en la Tabla 3. Es destacable la baja superficie en la que una sola especie aparece como única a emplear en las forestaciones recomendadas.

Tabla 3. Porcentajes de las mezclas y superficies para las forestaciones recomendadas

Especies	ha
100% *Pinus halepensis* (pino carrasco)	932
100% *Pinus pinea* (pino piñonero)	12.356
100% *Quercus ilex* (encina)	13.194
33% *Quercus ilex* (encina), 33% *Pinus pinea* (pino piñonero), 33% *Pinus halepensis* (pino carrasco)	13.757
40% *Pinus halepensis* (pino carrasco), 30% Quercus ilex (encina), 30% *Pinus pinea* (pino piñonero)	4.924
50% *Pinus pinea* (pino piñonero), 50% *Pinus halepensis* (pino carrasco)	653
50% *Quercus ilex* (encina), 25% *Pinus pinea* (pino piñonero), 25% *Pinus* halepensis (pino carrasco)	33.691
50% *Quercus ilex* (encina), 50% *Pinus halepensis* (pino carrasco)	92.474
50% *Quercus ilex* (encina), 50% *Pinus pinea* (pino piñonero)	42.606
60% *Pinus pinea* (pino piñonero), 40% *Quercus ilex* (encina)	14.610
60% *Quercus ilex* (encina), 40% *Pinus halepensis* (pino carrasco)	18.599
60% *Quercus ilex* (encina), 40% *Pinus pinea* (pino piñonero)	9.062
70% *Pinus halepensis* (pino carrasco), 30% *Pinus pinea* (pino piñonero)	1.916
70% *Pinus halepensis* (pino carrasco), 30% *Quercus ilex* (encina)	3.129
70% *Pinus pinea* (pino piñonero), 30% *Pinus halepensis* (pino carrasco)	933
70% *Pinus pinea* (pino piñonero), 30% *Quercus ilex* (encina)	7.319
70% *Quercus ilex* (encina), 30% *Pinus halepensis* (pino carrasco)	32.675
75% *Pinus pinea* (pino piñonero), 25% *Quercus ilex* (encina)	628
75% *Quercus ilex* (encina), 25% *P*inus *pinea* (pino piñonero)	12.268
80% *Pinus halepensis* (pino carrasco), 20% *Quercus ilex* (encina)	15.808
80% *Pinus pinea* (pino piñonero), 20% *Quercus ilex* (encina)	892
Área de reserva ecológica	1.778
Zona de actuación especial (cauces intermitentes)	2.938
Zona de actuación especial (recuperación de entornos lagunares)	1.978
Zona de actuación especial (recuperación de márgenes de ríos)	2.591

También fueron incluidas en la planificación otro tipo de forestaciones, en las denominadas zonas de actuación especial, que intentan la recuperación de los entornos lagunares (tan singulares en estas zonas de La Mancha), la recuperación de márgenes de ríos y las actuaciones en cauces intermitentes, muy importantes para evitar la erosión. Para cada una de ellas se aconseja la instalación de un tipo de vegetación más específico. Las zonas protegidas fueron separadas del resto y se denominaron áreas de reservas ecológicas.

CONCLUSIONES

1. La especie que ha resultado tener mayor área potencial en la comarca planificada es la encina, el doble que *Pinus pinea*, por lo que debería ser la especie que en mayor medida apareciera en las forestaciones que se realicen
2. Pese a que el área potencial obtenido para *Pinus halepensis* ha sido bajo, muy inferior al que realmente podría ocupar dada su frugalidad, ha sido incluido este pino en muchas de las mezclas, sobre todo como acompañante de la encina. Es necesario tener en cuenta en la elección de especies aspectos adicionales tan importantes como el temperamento de las especies
3. La elección de especies mediante modelización de las áreas potenciales de las formaciones forestales, sólo es posible si existe suficiente representatividad de esas especies en las zonas a planificar
4. Las metodologías de elección de especies basadas en la potencialidad y la biodiversidad permiten la creación de masas pluriespecíficas, más estables, en los procesos de reconstrucción de las formaciones vegetales

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo forma parte del Proyecto de Investigación INIA-CICYT F0-046 "*Planificación Territorial y Análisis Socioeconómico de la Forestación de Tierras Agrarias de La*

Mancha", cuyo investigador principal es D. Antonio del Cerro Barja.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLUE, J.L; (1.990). *Atlas Fitoclimático de España.* Ministerio de Agricultura. INIA. Madrid

ARC VIEW GIS; (1.996). *Environmental System Research Institute,* Inc. New York

ATAURI, J.A; SALDAÑA, A; BELMONTES, J.A; DE LUCIO, J.V; GOMEZ, A; (2.000). *Comparación de métodos para la cartografía ecológica del paisaje: aplicación a la Cuenca del Henares.* Actas I Congreso Ibérico de Ecología. Universidad de Santiago de Compostela. Pag.190

BURRIEL, J.A; IBÁÑEZ, J.J; PONS, X; VAYREDA, J; (2.000). *Ensayo de diferentes metodologías en la confección de mapas de vegetación potencial*. Actas I Congreso Ibérico de Ecología. Universidad de Santiago de Compostela. Pag.187

IBÁÑEZ, J.J; VAYREDA, J.A; BURRIEL, J.A; MATA, T; GRACIA, C; (2.000). *Características de los bosques incluidos en el Plan de Espacios de Interés Natural de Cataluña*. Actas I Congreso Ibérico de Ecología. Universidad de Santiago de Compostela. Pag.186

MANRIQUE, E; (1.993). *Informatizaciones Climoal.* Escuela de Ingeniería Técnica Forestal. Madrid

MONTERO DE BURGOS,J.L;GONZÁLEZ REBOLLAR, J; (1.983). *Diagramas Bioclimáticos.* Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Madrid

RUIZ DE LA TORRE, J; (1.990). *Mapa forestal de España.* Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza-Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid

SÁNCHEZ, M.A; FERNÁNDEZ, A.A; ILLERA, P; (1.999). *Los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión Forestal*. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete

SANTA OLAYA, F; (1.995). *Desertification proceses in the Mediterranean Area and their interlinks with the global climate.* Proyecto Efeda II. Universidad de Castilla-La Mancha

STATGRAPHICS; (1.997). *Statistical Graphics Corporation,* Inc. Maryland.