

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE ESTACIONES FORESTALES EN EL CONTEXTO DE LAS REPOBLACIONES FORESTALES.

NAVARRO CERRILLO, R.M.; SENRA RIVERO, F.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS Y DE MONTES. UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA.

RESUMEN

El uso cada vez mas generalizado por parte de diferentes organismos de Sistemas de Información Geográfico (SIG), tanto para la planificación como para los proyectos de ejecución de repoblaciones forestales, esta conduciendo a una mayor necesidad de conocer la calidad y precisión de la información obtenida a partir de estos métodos de análisis. En este trabajo se presenta la elaboración de una metodología para el desarrollo de un SIG que permita la caracterización de estaciones en el contexto de la repoblación forestal, y la generación de cartografía de calidad de estación, así como los criterios de control de la calidad de la información obtenida.

P.C.: *Repoblaciones forestales, estación forestal, SIG.*

SUMMARY

The widespread use by governmental agencies and private firms of Geographic Information Systems (GIS) for planning and implementation of afforestation projects has led to an increase demand for thematic maps depicting site classification, as well as quantification and documentation of their thematic accuracy. The traditional approach to forest site survey requires a large amount of field work and is time consuming. An alternative method of classification and mapping of forest site types with GIS data is describe in this paper.

K.W.: *Afforestation, Forest site, GIS*

INTRODUCCION

En los últimos años hemos asistido a un creciente uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en trabajos de planificación y ejecución de trabajos de repoblación forestal. Esto básicamente ha supuesto hasta el momento la generación de cartografía temática, que posteriormente se ha integrado mediante el cruzamiento de coberturas. Sin embargo, no se ha tenido en consideración la cuantificación de la calidad y de la precisión de la información utilizada, y fundamentalmente al objetivo final de la cartografía generada. Esto es particularmente importante dada la facilidad de generalización de estos sistemas, lo cual debe requerir además un conocimiento suficiente de las bases de la repoblación forestal, es decir del uso final de la información obtenida.

Los métodos que se han utilizado tradicionalmente en la delimitaciones de rodales de repoblación suelen basarse en el trabajo de campo, la experiencia personal, y la interpretación de cartografía básica. Estos métodos, aunque eficaces, generalmente son

costosos, muy laboriosos en términos de tiempo y recursos, dificultosos a la hora de trabajar a diferentes escalas y sujetos en ocasiones a una enorme subjetividad. Sin embargo, la aplicación de un Sistema de Información Geográfico, a partir de los conceptos clásicos de rodal de repoblación, facilita notablemente la descripción y caracterización de la calidad de estación para repoblaciones forestales.

Un estudio para conocer la precisión de esta información requiere necesariamente comparar las condiciones del terreno, obtenida a partir de inventarios detallados de campo, y que se considera como *verdad terreno*, y la información obtenida a partir de los SIG, considerada como información derivada. Con este objetivo se presenta en este trabajo una metodología desarrollada para la estimación de la precisión de los trabajos de clasificación y evaluación de la calidad de estación para repoblación forestal.

MATERIAL Y MÉTODOS

La zona seleccionada corresponde a los montes de “*Las Mestas*”, “*Los Puntales*” y “*Suerte Lentisco*”, localizados todos ellos en la cuenca del embalse del Guadalmellato, en el Término Municipal de Obejo, provincia de Córdoba. El área de estudio tiene una superficie de 2.100 has., divididas en los tres montes mencionados, de los cuales se ha seleccionado el monte “*Suerte Lentisco*” (540 has) no solo por su variedad sino sobre todo por las sucesivas repoblaciones allí realizadas.

El Clima de la zona es Nemoromediterráneo Genuino de Inviernos Frescos IV (IV) (ALLUE, J.L. 1990), con una temperatura media de 16.8°C, y una precipitación de 750 mm. La zona tiene un relieve bastante acentuado a pesar de presentar un rango de elevaciones que va solamente de 180 a 440 en el monte escogido. La Vegetación corresponde a restos de monte mediterráneo con dominancia del encinar (*Quercus ilex*), y en menor medida de alcornocal (*Quercus suber*) y quejigal (*Quercus faginea*), mezclado con diferentes especies de matorral, de las que predominan las jaras (*Cistus ladanifer*) y lentiscos (*Pistacea lentiscus*). Sobre grandes superficies se han realizado repoblaciones forestales con pino piñonero y pino negral, que aparecen en muchas ocasiones completando un mosaico de cultivos leñosos de olivar y áreas de pastos. Los Suelos se caracterizan por encontrarse en las zonas más accidentadas o deforestadas de Sierra Morena y áreas montañosas de esquistos de la Penibética, dominando los Regosoles y Litosoles. La Geología se caracteriza por pizarras, cuarcitas y esquistos paleozoicos. Actualmente el monte objeto del estudio presenta un uso minoritario ganadero enclavado dentro del uso general del mismo que es el de la caza menor.

A.- Jerarquización de la información disponible para la caracterización de estaciones forestales. El concepto de *estación forestal* alude a todas aquellas características de una localización particular que influyen en el establecimiento y crecimiento de una especie forestal particular. Una estación forestal tienen unas características relativamente homogéneas en cuanto a topografía, suelo, vegetación y clima dentro de una región. Este concepto ha sido asimilado por los autores a conceptos tales como unidad ecológica, tipo de paisaje ó sitio (GASTO, J. et al 1985).

En Europa, y más recientemente en España, la clasificación que más frecuentemente se ha utilizado para la definición de tipos forestales ha sido la Fitosociología cuyo ejemplo más significativo en nuestro país ha sido el Mapa de Series de Vegetación (Rivas Martínez, S. 1987). Sin embargo hoy día se acepta de forma general el hecho de que las clasificaciones forestales deben estar basadas en una aproximación que considere las diferentes variables del medio ambiente de acuerdo a su influencia sobre un determinado tipo de cobertura forestal. De las clasificaciones existentes que cumplen estos requisitos se

ha optado para este proyecto por el Sistema de Clasificación de Ecosistemas Forestales desarrollados por el Ministerio de Recursos Naturales del Canadá (BERGERON, J.F., SAUCIER, J.P., 1992). Este sistema se basa en el análisis jerárquico de los principales parámetros ecológicos que intervienen en la organización espacial de los ecosistemas forestales. Esta jerarquía puede resumirse de la siguiente manera:

- **ECO-REGION:** Corresponde a una unidad territorial caracterizada por un clima regional propio cuya expresión es un determinado tipo de cobertura forestal.

- Escala de trabajo: 1/1.000.000

- Información utilizada: Atlas fitoclimático de España (Allué Andrade, 1990); Clasificación biogeoclimática territorial de España “CLATERES” (Elena Roselló, R. et al. 1990-93).

- **DISTRITO ECOLOGICO:** Se trata de una unidad territorial caracterizada por unas unidades fisiográficas (geología y orogénesis) homogéneas.

- Escala de trabajo: 1/25.000

- Información utilizada: Mapa Geológico (Instituto Geológico y Minero).

- **TIPO ECOLOGICO:** Corresponde a la distribución de la vegetación potencial a lo largo de su gradiente topográfico.

- Escala de trabajo: 1/50.000 y 1/25.000

- Información utilizada: Mapa de Series de Vegetación de España (Rivas Martínez, 1987); Mapa Topográfico (IGN).

- **ESTACION:** Se trata de la unidad territorial de rango mínimo en la organización de los ecosistemas forestales y corresponde a unas condiciones homogéneas de factores edáficos, microclimáticos, topográficos y de cobertura vegetal, por tanto, y en nuestro caso, con una aptitud determinada para la repoblación forestal.

- Escala de trabajo: 1/10.000

- Información utilizada: Trabajo de Campo; “Factores edáficos importantes para la repoblación forestal” (BONFILS, 1978).

La estación corresponde al nivel jerárquico inferior dentro de la escala establecida y, por tanto, es la unidad ecológica mínima, sobre la cual se pueden tomar decisiones. No obstante todavía puede hacerse un análisis de dos variables:

- **ESTADO:**

- Escala de trabajo: 1/10.000

- Información utilizada: Trabajo de campo; Mapa Forestal de España (Ruiz de la Torre, J. 1990), éste a una escala de 1/25.000.

- **CONDICION.**

- Escala de trabajo: 1/10.000

- Información utilizada: Mapa Forestal de España (Ruiz de la Torre, J. 1990).

Las características de una estación, que describen un rodal de repoblación en particular, reflejan la aptitud de ese lugar para la repoblación forestal. Esto supone que la selección de las variables de caracterización debe ser muy cuidadosa para permitir, por un lado, su adecuada caracterización, y por otro su determinación con ayuda de un SIG. Así, por ejemplo, del conjunto de variables recopiladas del *trabajo de campo* (topografía, vegetación, suelo y datos micrometeorológicos) se seleccionaron entre otras: pendiente, exposición, posición en la ladera, profundidad efectiva del suelo, litología de partida, y cobertura vegetal.

B.- Integración de los diferentes niveles de información a un SIG. Por Sistema de Información Geográfica (SIG) se entiende aquel sistema para la captura, almacenamiento, actualización, manipulación, análisis y representación de datos georeferenciados, tal que sea capaz de integrarlos organizadamente en capas temáticas (“coberturas”), de tal forma que

cada una esté formada por sus representaciones (puntos, líneas o polígonos) así como por sus atributos (base de datos). El SIG utilizado ha sido ARC/INFO al cual se ha accedido gracias al *Sistema Centralizado de Información del Territorio*, localizado en la ETSIAM.

Como se ha dicho anteriormente, la información disponible fue integrada en ARC/INFO, cada una en su escala correspondiente. Aunque muchos de estos niveles de información ya se encuentran en información digital, caso del Mapa Forestal Español que se adquiere “digitalizado” a la escala 1/50.000, existen otros cuya *digitalización* (conversión del documento analógico a formato numérico) forma parte de este proyecto como es el caso del Mapa Geológico. Donde no existe prácticamente información disponible es a escala de monte (1/10.000) que, por ser la más necesaria en el proyecto que nos ocupa, ha sido la que ha demandado mayor atención. A continuación se muestra parte de los pasos seguidos en la obtención de esta última:

- * Digitalización del Mapa Topográfico de Andalucía, hoja 2-4 (902). Se utilizó para ello el programa AUTOCAD. Se digitalizó toda la información existente en el entorno del monte “Suerte Lentisco”: curvas de nivel (cada 10m), puntos de máxima cota (picos), caminos rurales, arroyos y cortafuegos.

- * Los datos fueron exportados a ARC/INFO en donde fueron integrados en diferentes coberturas. Es entonces cuando se procedió a la creación de la *topología*, procediendo a la corrección de los diferentes errores procedentes de la digitalización.

- * A continuación se creó el Modelo Digital del Terreno (DTM), imagen tridimensional del terreno obtenida a partir de la topografía (curvas de nivel y picos). ARC/INFO es principalmente un SIG vectorial (punto, línea y polígono) posee también un módulo raster (información matricial) llamado GRID que es mucho más preciso para este caso. A pesar de esto surgieron problemas en el procesamiento de la información debido a la altísima densidad de curvas de nivel (500 has de relieve pronunciado a un intervalo de 10m). Por este motivo, y solo para resolver este incidente, se recurrió a GRASS, otro SIG con un módulo raster mucho más potente. En GRASS se obtuvo el DTM y a partir de él, y de forma inmediata, dos nuevos mapas temáticos: mapa de pendientes y de exposiciones. En un sistema raster toda la información se encuentra asociada a “*celdas*”, de tal forma que en nuestro caso cada una tenía asociada un determinado valor de pendiente y exposición. El tamaño de celda elegido fue el de 10x10m, dando algunos problemas de falseamiento de pendientes por tomar valores medios demasiado concretos; problemas que se solucionaron posteriormente con el empleo de filtros.

- * Toda la información (DTM y mapas de pendientes y exposiciones de 10x10) fue de nuevo exportada a ARC/INFO, directamente a su módulo GRID, donde los valores de pendientes y exposiciones, asociados a cada celda, fueron agrupados en intervalos de pendientes (<15%, 15-30%, 30-50%, 50-60%, >60) y de exposición (solana/umbría) respectivamente, facilitando su procesamiento.

- * Además de la topografía se incidió, también en ARC/INFO, en la cobertura de arroyos, obteniéndose un mapa temático con las “zonas de protección”, aquellas que distaban de los arroyos 12m.

A estas coberturas, procedentes todas ellas de la escala 1/10.000, se les integró el resto de la información digitalizada como son: suelos; el clima; y la vegetación, resultante de integrar el Mapa Forestal Español junto con la fotointerpretación de las fotografías aéreas.

C.- Validación de las diferentes fuentes de información mediante su contraste con los datos obtenidos del trabajo de campo. Paralelamente al procesamiento de la información digitalizada, utilizando ARC/INFO como SIG, se procedió a la elaboración de un mapa del terreno, de forma tradicional, a escala 1:10.000. Para producir este mapa se utilizó un sistema de muestro que consistió en un inventario sistemático con una malla de 100x100

m; en cada punto de muestreo se tomaron hasta 26 variables distintas, siguiendo en parte el modelo proporcionado por el

II Inventario Forestal Nacional. El hecho de hacer un trabajo de campo tan exhaustivo permitió seleccionar las variables que irían a utilizarse posteriormente en la creación de los mapas temáticos. Como resultado de este trabajo de campo, se obtuvo un mapa al que nos referiremos como MAPA MANUAL. De forma similar, al conseguido mediante la integración de coberturas en el SIG le definiremos como MAPA AUTOMÁTICO. Con el fin de comparar ambos tipos de información los datos procedentes del trabajo de campo fueron introducidos a ARC/INFO, generándose, para cada una de las opciones, tres mapas:

1. Mapa de estaciones forestales
2. Mapa de rodales de repoblación
3. Mapa de clases de aptitud para la repoblación forestal.

Una vez generados estos mapas se procedió a la superposición de los mismos y a la comparación de cada uno de ellos para lo cual se estudiaron las matrices de error originadas.

RESULTADO Y DISCUSION

Basándose en los resultados obtenidos por ambos sistemas se procedió a la elaboración de una cartografía doble: por un lado se hicieron los mapas de estaciones, que se simplificaron a un mapa de rodales de repoblación; en segundo lugar se hizo un mapa de clases de aptitud del terreno para la repoblación forestal, para ello se siguió el criterio de clasificación de Bonfils y Gandullo. Estos mapas se completan con una cartografía general de cada una de las variables que se han utilizado para la caracterización de la estación y su integración en mapas temáticos: topografía (exposición, pendiente, altitud), vegetación y suelo (litología, profundidad efectiva), y otros como hidrología e infraestructuras.

Una vez comparados ambos mapas se observa que la mayor discrepancia entre clases reside en las coberturas de *vegetación* y sobre todo en la de *suelo*, no obstante no debe olvidarse la existencia de otros errores detectados de menor importancia, debido a la superposición de coberturas que aportan individualmente errores (NEWCOMER & SZAJGIEN, 1984).

- El error detectado en el mapa temático de vegetación fue debido a la escala a la que se encuentra el Mapa Forestal Español, mucho menor que el inventario, información que no pudo completarse de forma precisa con la fotointerpretación del monte al no poder disponer de fotografías aéreas actuales (las utilizadas son procedentes del vuelo del 91, inmediatamente posterior al incendio que afectó a gran parte de la superficie).

- Las fuentes principales de error se debieron a las características edafológicas que son las más complejas de cartografiar y las que presentan un mayor grado de subjetividad. En cualquier caso esta fuente de error afectaría indistintamente a ambas clasificaciones, manual y automática, ya que en la actualidad no es posible, y económicamente no es viable, asumir la elaboración de este tipo de cartografía para áreas relativamente grandes como es el caso de los terrenos objeto de repoblación forestal.

Es importante por tanto conocer de forma más precisa cuáles son las fuentes más importantes de error en las clasificaciones automáticas de estación forestal. Evidentemente, a medida que mejoren la calidad de la información de partida y el nivel de práctica de los analistas se irá ganando en precisión y, por tanto, en calidad de la información generada.

CONCLUSIONES

El objetivo principal de este estudio ha sido comprobar la precisión de los mapas de calidad de estación forestal para repoblaciones forestales generados a partir de un SIG. Para

ello se inventariaron las condiciones de estación del área estudiada mediante dos sistemas diferentes: inventario del terreno, y utilización de un SIG. Las diferencias entre ambos sistemas radicaron principalmente en la adecuada asignación de los límites de cada uno de los rodales de repoblación, sobre todo aquellos que no tienen una entidad suficiente lo que dificulta notablemente su identificación en el terreno; así como en la dificultad de interpretación de algunas de las variables de caracterización de la calidad como era el caso de las variables edáficas, lo cual en cualquier caso también es una limitación cuando trabajamos con ayuda de un método clásico de apeo de rodales.

Por tanto los resultados obtenidos muestran una gran similitud entre ambos métodos. Esto refuerza la importancia que los métodos automáticos tienen para generar información, así como la facilidad de análisis mediante la integración de coberturas diferentes y posterior generación de la cartografía necesaria, lo que supone una mejora considerable de la información utilizada y de la calidad de la misma. Esto permite asegurar que el uso de un SIG reduce considerablemente la cantidad de trabajo de campo a realizar, que además de ser la parte más laboriosa de todo proyecto de repoblación es también la que está sujeta en ocasiones a una enorme subjetividad.

Parece evidente que los mapas automáticos y manuales de repoblaciones forestales llegan en términos generales a informaciones fácilmente comparable, y principalmente fáciles de complementar, y esto último es muy importante ya que no debe caerse en el error de pensar que un tipo de cartografía es *mejor* que otra, por lo que no debe pretenderse que una excluya a la otra, sino que por el contrario lo que debe buscarse es una adecuada complementariedad de la información generada de forma manual y automática. Esto supone un desarrollo previo de gran parte de la información mediante el uso de medios informáticos, su contraste en el terreno (necesidad del trabajo de campo), y la incorporación final al SIG, lo que permitirá obtener toda la información final para el desarrollo del proyecto de repoblación.

BIBLIOGRAFIA

ALLUÉ, J.L. 1990. *Atlas Fitoclimático de España*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid.

BERGERON, J.F., SAUCIER, J.P. *Québec forest ecological classification program*, Vol. 68. No. I. *The Forestry Chronicle*. Quebec (Canada).

BONFILS, 1978. *Le Classement des Sols en Vue de la Reforestation en Zone Méditerranéenne.. Revue Forestière Française*.

GASTO, J. et al. 1991 *Clasificación de Ecorregiones y Determinación de Sitio y Condición*, Santiago de Chile.

NAVARRO CERRILLO, R.M., MARTINEZ SUAREZ, A. 1995. *Elección de Especies para la Forestación en Explotaciones Agrícolas. Comarcalización de Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.

NEWCOMER, J.A. & SZAJGIN, J. 1984. *Accumulation of thematic map errors in digital overlay analysis*. *American cartographer* N° 11.(58-62).