

## ESTUDIO DE LA DINAMICA DEL PAISAJE VEGETAL MEDIANTE LA CLASIFICACIÓN CRUZADA "RASTER"

AGUSTÍN NARANJO CIGALA & LUIS HERNÁNDEZ CALVENTO

Sección de Geografía (DACT), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Recibido: marzo 1995

Palabras clave: Clasificación cruzada, paisaje vegetal, dinámica, SIG.

Key-words: Cross clasification, plant landcape, dynamic, GIS.

### RESUMEN

El análisis cartográfico del paisaje vegetal a través de la tabulación cruzada nos permite llevar a cabo un diagnóstico rápido y eficaz de la magnitud del cambio del paisaje. Asimismo, los resultados obtenidos ofrecen una visión de la estabilidad, en el caso de que se produzca, y la tendencia de la dinámica de las unidades que presentan algún cambio. Este método proporciona las herramientas de partida para reflexionar sobre los factores que intervienen en tales procesos. A modo de ejemplo presentamos un ensayo sobre la Cumbre Central de Gran Canaria.

### SUMMARY

The mapping analysis of the plants landscape through the cross-clasification permits us the carry out a quickly and efficacious diagnosis of the landscape change extent. Likewise, the results offer a vision of the stability, in the case it is produced, and the trend of the dynamic of the units that show some change. This method give us the previous tools to think about the factors that take part in such processes. As a case study, we present a test about the Cumbre Central of Gran Canaria.

## INTRODUCCIÓN

### La cartografía dinámica estructural

El territorio es, en sí, un fenómeno dinámico, cambiante, en continua evolución; en definitiva, algo vivo. Su externalidad es la consecuencia de un conjunto de hechos que definen su funcionamiento. Estos hechos, como la actividad antrópica sobre un determinado territorio o la dinámica de los factores

naturales, dejan su huella sobre el espacio, de tal manera que lo determinan y confeccionan. Así, el análisis de su fisionomía en el pasado y en el presente nos muestra las claves espaciales que permiten al planificador emprender una labor de futuro con argumentos mucho más sólidos, cuyo valor esencial reside en caracterizar la realidad geográfica de la cual dependen la mayoría de las actividades del Hombre. En un estudio de estas características, el observador percibe los elementos que conforman el territorio, seleccionando aquellos que ayudan a definir su perfil fisionómico y que son una expresión clara de los procesos que se producen en su seno. A partir de una base cartográfica compuesta de estos elementos fisionómicos, podemos abordar el análisis de los mismos para entresacar sus relaciones funcionales (SANCHO *et al.*, 1993).

Si, además, la observación y su plasmación cartográfica se realiza en dos momentos cronológicamente diferentes sobre un mismo territorio, estamos poniendo las bases de lo que puede ser un análisis multitemporal o diacrónico. Es decir, un análisis que no se conforma con estudiar los diferentes momentos de un determinado espacio para explicar cada uno de ellos, sino que es el cambio, precisamente, lo que se dilucida. No se sustenta de "momentos cartográficos" concretos, sino que permite elaborar una nueva cartografía "dinámica", producto de las anteriores "estáticas".

Estas ideas son los principios en los que se apoyan los estudios de cartografía dinámica estructural, que se basan en el análisis de los cambios morfo-paisajísticos producidos en un territorio entre dos instantes cronológicos para conocer y determinar el cambio estructural del sistema, ya sea éste agrario, urbano, "natural" o de cualquier otra índole.

Si bien la base del análisis fisionómico multitemporal sigue siendo la elaboración de un producto, derivado de la comparación de los documentos cartográficos correspondientes a las coberturas del suelo, en dos períodos diferentes de tiempo (análisis multianual o análisis multiestacional), el uso de sistemas alfanuméricos que permiten calcular superficies y realizar operaciones matemáticas con los datos cartográficos, ha facilitado enormemente las tareas de cálculos planimétricos y estadísticos (SANCHO & BOSQUE, 1990). La aplicación de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) ha supuesto, ciertamente, una revolución en el campo de la cartografía y el análisis territorial, principalmente por la facilidad de manejo y actualización de la información, por la creación de nuevos documentos cartográficos producto de la combinación y análisis de los existentes y, por supuesto, lo que debe ser el fin de todo planificador territorial, la modelización de los fenómenos espaciales (BOSQUE, 1992; COMAS & RUIZ, 1993).

A través de este artículo queremos poner de manifiesto las facilidades que pueden ofrecer estas herramientas en un estudio territorial de objetivos diversos, que conlleve un análisis multitemporal o diacrónico.

## **METODOLOGÍA: LA CLASIFICACIÓN CRUZADA EN UN SIG "RASTER"**

Entre los procedimientos de análisis que se pueden llevar a cabo mediante un SIG de tipo "raster", podemos hacer una división entre aquellos que utilizan para

## METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA DINÁMICA DEL PAISAJE VEGETAL

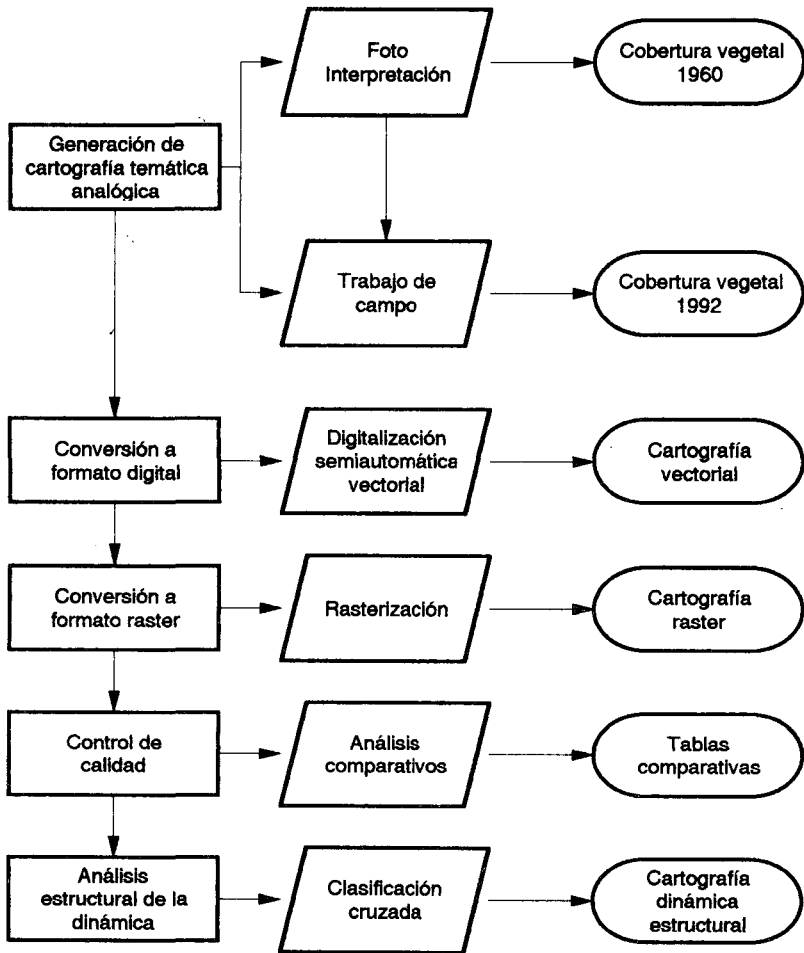


Figura 1.- Organigrama de la metodología.

su desarrollo la totalidad de los fenómenos cartográficos en su conjunto y los que actúan sobre algunas de las localizaciones espaciales que es posible diferenciar en el mapa como el "pixel", la vecindad o la zona (MARTÍNEZ, 1989).

El método de la clasificación cruzada se basa en un análisis local, realizándose la operación pixel a pixel. Se trata, sin embargo, de una operación en la que se tienen en cuenta dos mapas, a partir de los cuales se realiza una intersección o cruce.

Esta operación resulta ser semejante a la tabulación cruzada de variables en el análisis estadístico, que se realiza mediante una tabla de contingencia. Es ésta una operación muy habitual entre dos variables normalmente nominales u ordinales. Para su realización se utiliza una tabla de doble entrada donde, en las filas, se colocan las modalidades de una de las variables, mientras, en las columnas, se colocan las modalidades de la otra variable. En el cruce se coloca un número que indica cuántos casos tienen simultáneamente una modalidad de la variable filas y de la variable columnas. Este ejercicio resulta de gran utilidad en la determinación de la posible relación entre las dos variables. Las modalidades temáticas producidas resultan ser el producto de las dos variables iniciales utilizadas en la entrada de los datos.

En el caso de la cartografía raster, la intersección de mapas está precedida de la tabulación cruzada de los dos mapas usados en la entrada. En las filas y columnas se sitúan las diferentes modalidades adoptadas por las dos variables temáticas iniciales y en el cruce de cada fila y columna el número de pixels que en el nuevo mapa presentarán esta específica combinación. A partir de esta tabla es posible realizar la intersección. Ésta se realiza a partir de una sucesión de superposiciones empleando el "Y" de la lógica booleana. El resultado es un mapa que muestra la posición de todas las combinaciones de las variables de los mapas originales en una nueva imagen raster.

De esta manera, en cada pixel del nuevo mapa se expresará una modalidad de acuerdo con las que existían en los pixels de los mapas fuente de tal manera que, en el nuevo mapa, los valores temáticos asignados a cada pixel resultan de las diferentes combinaciones posibles entre las categorías de los mapas iniciales. A continuación se debe proceder a una reclasificación de las categorías obtenidas, a fin de eliminar aquellas que sean repetitivas y agrupar las comunes.

## ÁREA DE ESTUDIO: LA CUMBRE CENTRAL 1960/1992

La elaboración del ejercicio partió de la generación de la cartografía de coberturas del suelo en el sector de la cumbre central de Gran Canaria (Fig. 2) mediante un ejercicio de fotointerpretación para la década de los 60, que permitió el establecimiento de unidades de paisaje vegetal definidas temáticamente, así como la consiguiente expresión cartográfica. Como consecuencia de un trabajo de campo sistemático, apoyado en los resultados cartográficos obtenidos para la década de los 60, se consiguió elaborar la cartografía de coberturas de 1992 y la contrastación de los atributos temáticos de las clases escogidas (NARANJO, 1992, 1994).

Esta acción determina que las unidades establecidas sean las siguientes:

**Cultivos:** en estas unidades se han incluido aquellas parcelas que presentan algún grado de explotación agrícola en cualquiera de sus modalidades, oscilando desde pequeñas áreas de cultivos de subsistencia con algunos bancales insinuados, preponderantes en los sesenta, hasta las explotaciones recientes de frutales en zonas de escasa pendiente y con sistemas modernos de riego.

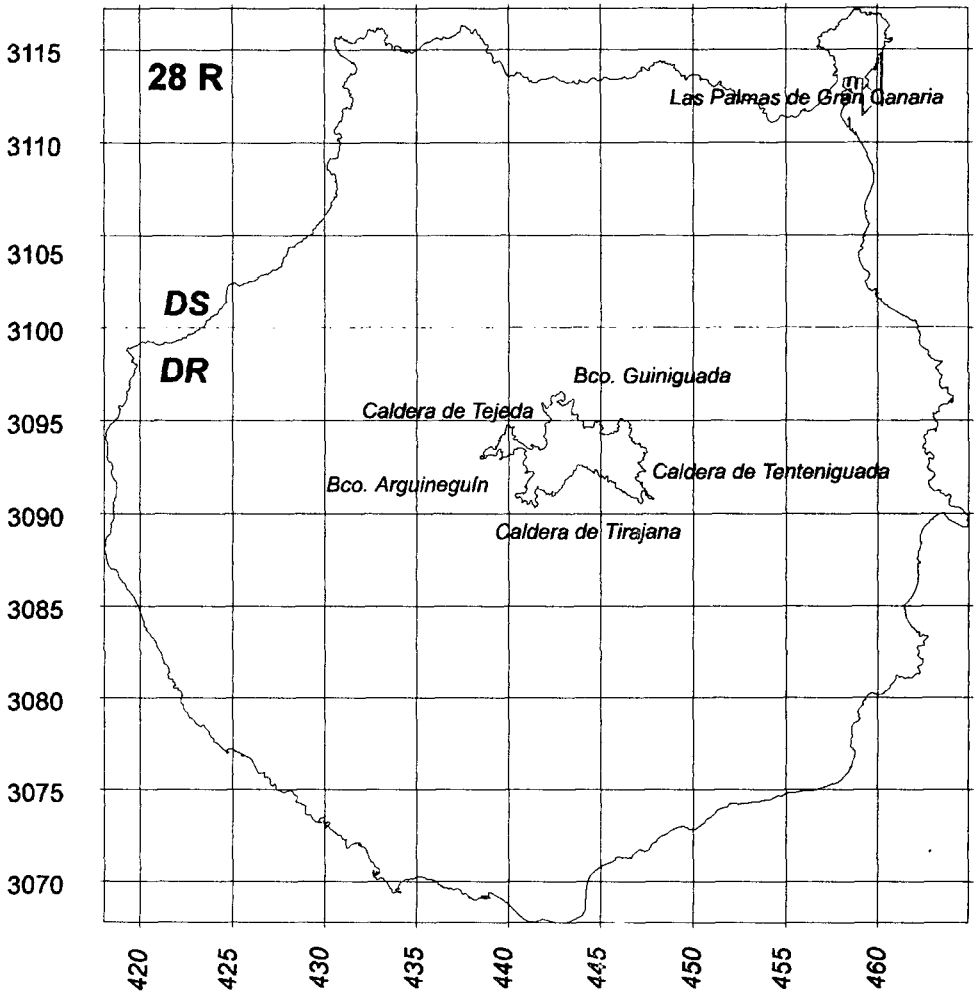


Figura 2.- Localización del área de estudio: cumbre central.

**Cultivos abandonados:** que vienen determinados por las áreas que presentan huellas de un abandono más o menos reciente (algunas décadas) y aún no se encuentran colonizados por los primeros estadios de recolonización vegetal. El recubrimiento vegetal -*Micromeria lanata* (Chr.Sm. ex Link) Benth., *M. benthamii* Webb et Berth., *Sideritis dasygnaphala* (Webb et Berth.) Clos, etc.- de algunas unidades es, en algunos casos aparente pero no representa un mínimo de homogeneidad y densidad para incluirlas en la categoría de matorral disperso.

**Pastizales:** cuya fisionomía está caracterizada por un manto más o menos continuo de diversas herbáceas pratenses y de otras especies de escaso porte y densidad. En algunos casos presentan claros debidos a afloramientos rocosos puntuales, que no representan una distorsión considerable de las características generales de estas unidades. En definitiva, son zonas marginales con suelos de escaso potencial ecológico aunque no presentan, por lo general, pendientes acusadas.

**Matorral disperso:** que, por su parte, presenta obviamente unos índices de recubrimiento total algo inferior y bastante más variables que los del matorral denso. Es decir, su grado de cobertura puede oscilar entre un 20 y un 50%, pero el predominio de los estratos inferiores (subarbustivo y sobre todo el herbáceo) proporciona una mayor riqueza florística donde la retama amarilla (*Telíne microphylla* (DC.) Gibbs et Dingw.) comparte el territorio con otras especies como la salvia blanca (*Sideritis dasygnaphala*), los tomillos (*Micromeria spp.*), la magarza de cumbre (*Argyranthemum adauctum* (Link) Humphr.), el alhelf (*Erysimum scoparium* (Brouss. ex Willd.) Wettst.) var. *lindleyi* (Webb ex Christ) Kunk., la gamona (*Asphodelus aestivus* Brot.), cañaheja (*Ferula linkii* Webb), cardos (*Carlina salicifolia* (L. fil.) Cav. y *C. texedae* Marrero), etc.

**Matorral denso:** unidades que se caracterizan por constituir conjuntos de vegetación arbustiva, subarbustiva e incluso de porte herbáceo con un porcentaje de recubrimiento general bastante alto. El predominio del retamar en esta categoría es evidente, especialmente en el estrato subarbustivo, acompañadas por el codeso (*Adenocarpus foliolosus* (Ait.) DC.) y el escobón (*Chamaecytisus proliferus* (L. fil.) Link) en el estrato arbustivo junto con algún pino aislado, mientras que en el estrato herbáceo presenta las mismas características que en los matorrales dispersos pero aumentando los índices de recubrimiento.

**Pinar:** unidades que se han caracterizado en función del predominio de esta especie (*Pinus canariensis* DC.) con independencia del estrato en el que predomine y del estado de crecimiento de la repoblación (fustal, latizal o monte bravo). Estos matices no se consideraron en el análisis cartográfico, al tratarse de coberturas, pero sí en el posterior trabajo de campo, pues las variaciones del sotobosque en estas unidades de pinar sí constituye un indicador fundamental para resaltar las valoraciones cuantitativas y cualitativas del estado actual de la vegetación de la cumbre central (Fig. 3).

## CARTOGRAFÍA Y CARGA DE DATOS EN EL SIG

Una vez consumado el análisis de los fotogramas aéreos y el estudio sistemático de campo, se procedió a consolidar los resultados sobre un mapa topográfico a escala 1:25 000, que nos pareció la más adecuada dada la resolución de las fotos aéreas (1:18 000) y la consiguiente refutación en el análisis de campo. El siguiente paso imprescindible para nuestros objetivos fue la conversión a formato digital de la cartografía analógica elaborada. Se procedió, por consiguiente a digitalizar los datos cartográficos mediante el sistema de digitalización manual georreferenciada usando el "software" ATLAS\*GIS (STRATEGIC MAPPING INC., 1992) y tableta digitalizadora.

La adaptación de las coberturas en formato vectorial se realizó mediante la importación de los ficheros de ATLAS\*GIS al formato vectorial de IDRISI (EASTMAN, 1992) y, desde aquí, al formato raster de este mismo programa. La realización de este proceso, que se conoce como "rasterización" de la información vectorial, se basa en volcar la información sobre las celdas de un mapa raster mediante un procedimiento de presencia-ausencia. Si bien es cierto que este método supone una pérdida de exactitud, que se debe a la generalización de la información, también lo es que los datos, ya representados por medio de un sistema con características vectoriales, ya por medio de uno con características raster, no dejan de ser una abstracción de la realidad, una imagen figurativa y conllevan, en cualquier caso, una generalización, por lo que nos sirven únicamente para trabajar con modelos y los modelos siempre son una aproximación a la realidad. En este sentido, creemos que resulta muy importante para cualquier estudio geográfico, más que una precisión geométrica "al milímetro", una exactitud temática y un conjunto de relaciones espaciales (topológicas) coherentes de las entidades geográficas establecidas.

El único método que existe para corregir, en parte, el posible error que se genere de esta transformación, es el de la corrección del tamaño del pixel. Existen numerosas claves destinadas a elaborar una norma de aplicación general en el tamaño que debe tener el pixel, dependiendo de la escala de la cartografía con la que se trabaja. La mayoría de las veces, estas claves no son aplicadas, pues, normalmente, la cartografía se adapta a una serie de objetivos particulares, de investigación puntual, que no siempre están de acuerdo con los principios oficiales. Por ello, son muchas las ocasiones en que se aplica una norma que corresponde a los productos cartográficos originados por el tratamiento de imágenes de satélite, que es el de utilizar como tamaño del pixel la cuarta parte de la unidad mínima cartografiada ó 0,2 mm nominales en la escala visual, de tal manera que el observador no sea capaz de visualizar la estructura cuadrículada de la cartografía raster. En nuestro caso, el tamaño del pixel que elegimos fue el de un milímetro en la escala del mapa, es decir, 25 metros en el terreno, ya que la transcripción cartográfica después de la fotointerpretación y del trabajo de campo se realizó originalmente a escala 1:25 000, como ya hemos dicho.

Esta decodificación de la información vectorial a formato raster, imprescindible para la posterior tabulación cruzada, requirió un oportuno control de calidad que verificara tanto el proceso de conversión de formato como la idoneidad del tamaño del pixel escogido, comparando la superficie resultante de las unidades en ambos formatos. Las diferencias que se obtuvieron en cuanto a la superficie de las categorías que correspondían a las coberturas vegetales, tras el cambio de formato, se exponen en la Tabla 1.

Como se puede comprobar, las diferencias son casi imperceptibles, de tal manera que las mayores que se observan rondan los cien metros, si bien, debemos considerar que las cifras se han redondeado. Si tenemos en cuenta que el pixel es de 25 metros, el error entre los mapas vectoriales y los raster no superan los cuatro pixels que, a la escala a la que se está trabajando, no representa ningún problema de magnitud.

Tabla 1.- Superficie de las coberturas vegetales para los años 1960 y 1992 en vectorial y raster.

SUPERFICIE DE LAS COBERTURAS VEGETALES (km <sup>2</sup> )				
AÑO	1960		1992	
COBERTURAS	VECTORIAL	RASTER	VECTORIAL	RASTER
Cultivos	0,89	0,89	1,17	1,17
Cultivos Abandonados	2,96	2,95	0,71	0,70
Pastizal	4,93	4,93	0,67	0,67
Matorral Disperso	3,64	3,64	2,87	2,88
Matorral Denso	8,05	8,05	5,03	5,04
Pinar	1,21	1,21	11,23	11,22

## DISCUSIÓN Y RESULTADOS

En el cruce de mapas resultantes se obtuvieron 38 categorías correspondientes a valores de dinámica/estabilidad. De ellas, ocho pertenecían a los valores estables, es decir, los pixels que habían permanecido con el mismo valor entre las dos fechas. En el mapa que los representa se puede comprobar que el área de la superficie que ha permanecido estable es mucho menor que la que ha experimentado cambios (en realidad, 15,89 km<sup>2</sup> de superficie dinámica -70%- frente a sólo 6,81 km<sup>2</sup> de superficie estable -30%-).

El resto de las nuevas clases obtenidas correspondía a aquellas que habían experimentado un cambio entre las dos fechas. Se puede realizar una doble



lectura de ellas. Por una parte, establecer "a qué han cambiado" las diferentes categorías y, por otra parte, establecer, desde esta óptica, "quién ha cambiado". Dado que la primera expresión es mucho más fácil de representar por medio de un documento cartográfico, la siguiente imagen corresponderá a una reclasificación general de las categorías obtenidas, donde aparecen tanto los pixels que han permanecido estables como los que han experimentado cambio, indicándose su destino (Fig. 4, mapas 3-4).

Como se puede comprobar, la imagen resultante muestra una gran categoría, "a pinar" que es el paso que otras categorías que no eran pinar en 1960 han experimentado a ésta (Fig. 4, mapa 5). En la Tabla 3 se puede comprobar la extensión superficial que tiene esta categoría frente a las otras a que han cambiado los pixels que conformaban las categorías dinámicas desde 1960 a 1992.

Tabla 2.- Superficie de las coberturas vegetales estables entre los años 1960 y 1992.

COBERTURAS ESTABLES	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )
Cultivos	0,07
Cultivos Abandonados	0,34
Pastizal	0,54
Matorral Disperso	1,58
Matorral Denso	2,30
Pinar	1,15

Dado que es ésta la categoría destino a la que han cambiado varias categorías desde 1960, nos proponemos, en nuestro guión de trabajo, analizar las razones de este cambio, con lo que entraríamos en la fase del análisis estructural de la evolución de los pinares de la cumbre central de Gran Canaria.

Las formaciones de pinares en 1992 constituyen el hecho más importante en la cartografía de coberturas vegetales (Fig. 3, mapa 2). Asimismo, estas unidades representan la dinámica superficialmente más importante desde la década de los 60 hasta 1992, año en el que se realizaron las campañas de campo de comprobación (Tabla 1).

El análisis de este proceso revela varios aspectos que caracterizan el cambio. La declaración del Decreto de 18 de diciembre de 1953 por el que se constituía el Perímetro de Repoblación Forestal Obligatoria, afectó totalmente a la cumbre central, limitando las actuaciones de origen antrópico y potenciando las tareas de repoblación. Este efecto se aprecia desde los inicios de nuestro análisis diacrónico, donde ya encontramos las primeras áreas repobladas en la zona del Pico de Las Nieves (Fig. 3, mapa 1). La continuación de tales labores, determinan, por consiguiente, que las masas de pinares de la cumbre sean

bastante importantes (Fig. 3, mapa 2) a costa de las unidades de matorrales y pastizales presentes en 1960 (Fig. 4, mapa 5). Las características de esta evolución que se expresan cartográficamente en la Fig. 4, mapa 5 y cuantitativamente en la Tabla 4, revelan la indiscriminación y la variabilidad de las unidades procedentes, dada la determinación impuesta por el Decreto sobre la propiedad de los terrenos.

**Tabla 3.-** Superficie de las coberturas vegetales dinámicas entre los años 1960 y 1992. Cambio a...

COBERTURAS DINÁMICAS (Cambios a...)	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )
Cultivos	6,19
Cultivos Abandonados	1,09
Pastizal	0,35
Matorral Disperso	0,13
Matorral Denso	1,30
Pinar	10,07

**Tabla 4.-** Superficie de las coberturas vegetales que han experimentado cambios a pinares entre los años 1960 y 1992.

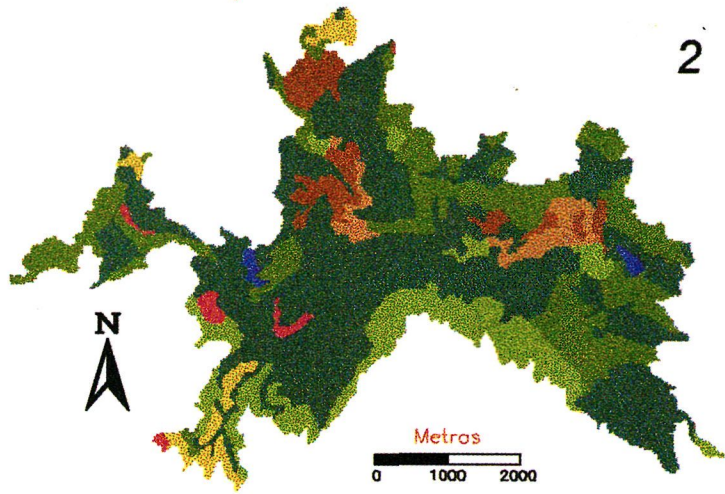
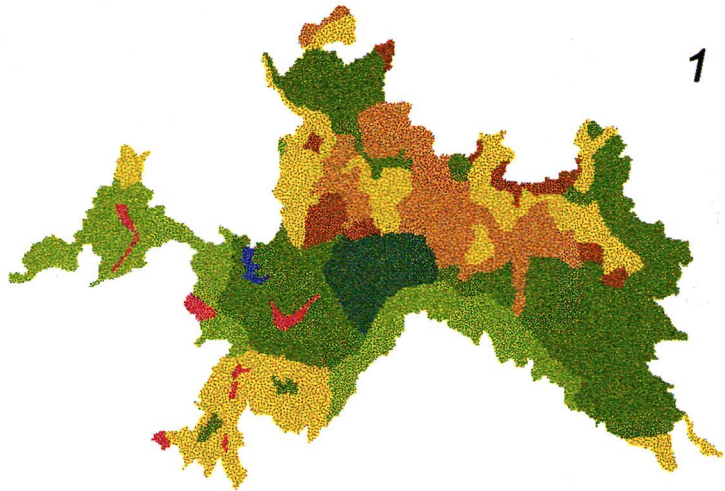
CAMBIOS A PINARES	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )
Desde U. de Cultivos	1,15
Desde U. de Cultivos Abandonados	0,31
Desde U. de Pastizal	1,22
Desde U. de Matorral Disperso	2,27
Desde U. de Matorral Denso	1,15

Los pinares actuales pues, sustituyen especialmente a matorrales dispersos y en menor medida a cultivos y matorral denso y pastizales, hecho, junto con otros, que tipifica la naturaleza de las masas actuales de pinares en la cumbre central.

En definitiva, queda de manifiesto que las diferencias entre vector y raster, a la hora de ofrecer definición cartográfica, son mínimas si se escoge el tamaño adecuado del pixel. Asimismo, también se pone de relieve las posibilidades que ofrece la tabulación cruzada de mapas raster para caracterizar la dinámica evolutiva de las coberturas analizadas y del paisaje vegetal en sentido estricto.

**Coberturas 1960**

**Coberturas 1992**



- Cultivos
- Cultivos abandonados
- Pastizal
- Matorral disperso
- Matorral denso
- Pinar
- Afloramientos rocosos
- Presas

(C) Agustín Naranjo Cigala  
& Luis Hernández Calvento

Figura 3.- Mapas de coberturas.

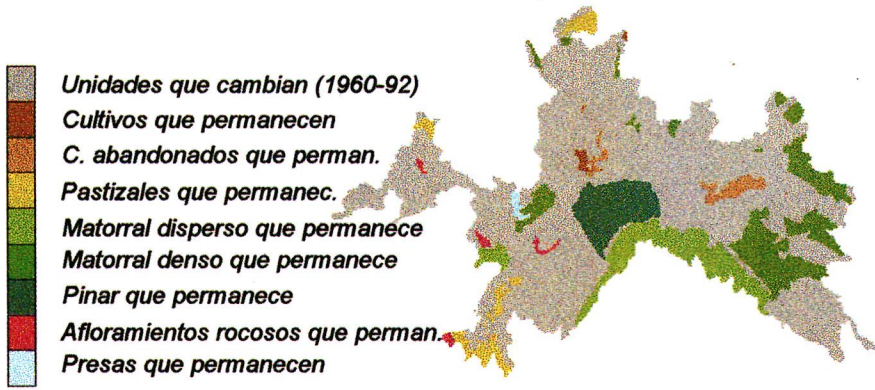
### Dinámica (1960-92)

3



### Permanencias (1960-92)

4



### A pinares (1960-92)

5

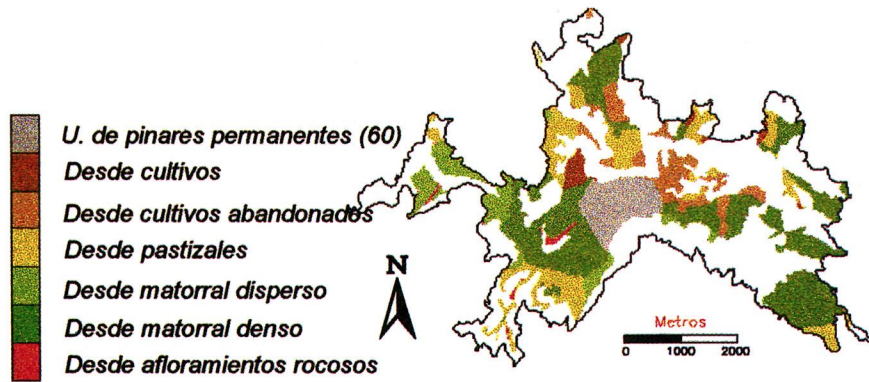


Figura 4.- Resultados cartográficos de la clasificación cruzada "raster".

## GLOSARIO

Creímos conveniente introducir una somera explicación del significado de algunos conceptos que aparecen reflejados en la metodología de nuestro estudio, con el objeto de que contribuyan a facilitar la comprensión del análisis que hemos efectuado.

**Raster:** Sistema de codificación de la información geográfica en el que se usa una malla de unidades regulares en las que se registra el valor temático de la variable que se quiera representar. La exactitud posicional de los elementos representados con este sistema está condicionada por el tamaño de cada unidad o celda, es decir, por su resolución.

**Pixel:** La palabra pixel proviene de la conjunción y abreviatura de las inglesas Picture x Element (PI X EL). Es el elemento más pequeño representado en un modelo de datos raster. La longitud del pixel debe ser la mitad de la longitud más pequeña que sea necesario representar de todas las existentes en la realidad (Star y Eyes, 1990), citado por BOSQUE (1992).

**Lógica booleana:** Las funciones de los operadores lógicos de Boole (AND, OR, NOT, XOR, IMP y EQV) son usados en los SIG, no sólo en la búsqueda selectiva de información temática sino también en la geométrico-cartográfica.

**Coberturas:** El término cobertura procede del inglés coverage y se entiende como la ocupación (land cover) del territorio en un momento concreto.

## REFERENCIAS

- BOSQUE, J., 1992.- *Sistemas de Información Geográfica*. Rialp, Madrid. 451 pp.
- COMAS, D. & E. RUIZ, 1993.- *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Ariel Geografía, Barcelona. 295 pp.
- EASTMAN, J.R., 1992.- IDRISI v. 4.0, User's Guide, ed. Worcester, MA (USA), Clark University. 178 pp.
- MARTÍNEZ, J., 1989.- Propuesta metodológica para la presentación cartográfica de los tipos dinámicos de ocupación y uso del suelo. *Estudios Geográficos*, 195: 235-258.
- NARANJO, A., 1992.- Evolución del paisaje vegetal en la cumbre central de Gran Canaria islas Canarias. Una aproximación a la dinámica recolonizadora de la vegetación. *Vegueta*, 0: 263-278.
- 1994.- Dinámica y evolución del paisaje vegetal. La cumbre central de Gran Canaria islas Canarias. In ed. M. de Bolós et al. *II Congreso de Ciencia del Paisaje*, 1: 141-150. Universitat de Barcelona i Fundació La Caixa, Barcelona.
- SANCHO, J. & J. BOSQUE, 1990.- La dinámica de la ocupación del suelo: ensayo de evaluación automatizada. *Topografía y Cartografía* 8(43): 31-34
- J. BOSQUE & F. MORENO, 1993.- La dinámica del Paisaje. Aplicaciones de un SIG raster al ejemplo de Arganda del Rey en las Vegas de Madrid. *Catastro*, 18: 35-51.
- STRATEGIC MAPPING INC., 1992.- ATLAS \*GIS v. 2.0, & Reference manual, Santa Clara, CA (USA).