

## EL MAPA DE USOS Y COBERTURAS VEGETALES DEL SUELO DE ANDALUCÍA Y SU INTEGRACION EN UN PROGRAMA DE SEGUIMIENTOS DE CAMBIOS DEL TERRITORIO

A. González Fernández, A. Fernández-Palacios Carmona y J.M. Moreira Madueño  
*Servicio de Evaluación de Recursos Naturales. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Pab. de Nueva Zelanda. Isla de la Cartuja. 41092 Sevilla*  
Tel. 4480217 Fax. 4480222

J. Carranza, J. Ruiz Casanueva  
*BIOCORA Consultores Ambientales. Virgen de Todos los Santos, 8. 41011 Sevilla*  
Tel. 4456785

**RESUMEN.-** La Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía ha iniciado un programa para la cartografía de los usos y coberturas vegetales de la región con vistas a acceder a este tipo de información básica del territorio de un modo operativo y controlar, a partir de ella, problemáticas ambientales directamente relacionadas con los usos del suelo.

Para llevar a cabo las tareas de gestión y permitir un verdadero seguimiento del medio, se ha procedido al diseño de un procedimiento de elaboración de la cartografía que contempla su actualización cuatrienal haciendo uso de las nuevas tecnologías de la información. La concepción de una leyenda específicamente adaptada a las condiciones físico-naturales del territorio regional y a los instrumentos a partir de los que se obtiene la información (imágenes Landsat-TM y fotografía aérea) constituye uno de los principales esfuerzos llevados a cabo para el éxito del programa.

**ABSTRACT.-** With the goals of obtaining basic spatial information such as the landuse and landcover and controlling environmental problems coming from the type of landuse, the Ministry of Environment of the Regional Government of Andalusia has initiated a program to obtain landcover cartography.

To carry on management policies and to achieve real environment monitoring, new technologies are used in the design of a procedure to produce cartography updated every four years. Moreover, the cartography design is focussed in the definition of a new nomenclature particularly adjusted to the natural conditions of the regional territory and to the tools for obtaining this information ( Landsat-TM imagery and aerial photography).

### 1.- INTRODUCCION

Conocer cuales son las formas y tipos de usos que se hacen del suelo, y en su defecto, cual es su ocupación, constituye una de las informaciones esenciales en las políticas de planificación y gestión del territorio. En lo que se refiere a la evaluación y control del medioambiente y los recursos naturales, este tipo de información adquiere especial relevancia en la medida en que se convierte en un claro reflejo de las alteraciones y actividades que el hombre lleva a cabo sobre su medio. En este sentido, podemos analizar los usos y ocupaciones del territorio como un indicador del grado de aprovechamiento o sobreexplotación del suelo en función de la aptitud o capacidad potencial que presente a un determinado uso. De la misma manera, los usos del suelo son con frecuencia los desencadenantes de graves problemáticas ambientales como son la erosión y pérdidas de suelo

debido al deterioro de la cubierta vegetal, la contaminación y sobreexplotación de recursos hídricos por prácticas agrícolas intensivas, la polución atmosférica y contaminación derivadas de los usos de tipo industrial, etc.

Con estos planteamientos, la Consejería de Medio Ambiente ha iniciado un programa para la cartografía de los usos y coberturas vegetales del suelo respondiendo a un doble objetivo: el acceso de un modo operativo al conocimiento estadístico y cartográfico de las formas y tipos de usos y ocupaciones del suelo en el territorio regional permitiendo el seguimiento de su evolución en el espacio y en el tiempo, y el alcance de un mejor diagnóstico en las problemáticas ambientales que están siendo evaluadas a través de modelos automáticos implementados en el Sistema de Información Ambiental del organismo.

Para proceder al diseño y establecimiento de este programa, en el que se ha fijado la actualización de la cartografía cada cuatro años de acuerdo con la dinamicidad del territorio, se ha recurrido al empleo de las nuevas tecnologías de información espacial con un doble propósito: la utilización de imágenes del satélite Landsat-TM como herramienta para la identificación de los usos y seguimiento de los cambios del territorio y el empleo del Sistema de Información Ambiental del organismo para el tratamiento y explotación de esta información una vez georreferenciada.

## 2.- METODOLOGIA

En líneas generales, el diseño de la nueva cartografía de Andalucía viene a aprovechar las experiencias adquiridas en proyectos similares en los años recorridos desde el establecimiento del Sistema de Información Ambiental en 1984, aproximándose de forma más específica a los planteamientos del proyecto europeo CORINE-Land Cover (Heyman et al., 1993).

Sin embargo, este nuevo diseño, como respuesta a la demanda de información para la gestión de los recursos y espacios naturales, ha sido expresamente orientado para que, entre otros, los contenidos cartográficos presenten mejor afinidad respecto a las particularidades físico-naturales y biodiversidad del territorio regional. De la misma manera, la puesta en marcha de un programa operativo de seguimiento de los cambios de uso y alteraciones en la cubierta vegetal ha condicionado igualmente el diseño de la leyenda, en cuanto que debe mostrar capacidad para recoger dichos cambios, y, especialmente, el procedimiento de realización y actualización de la cartografía.

Se describen a continuación dos de los aspectos de mayor relevancia en relación con el procedimiento de elaboración y que constituyen las bases de la cartografía: el proceso de producción de las imágenes y la estructura y definición de la leyenda.

### 2.1.- Proceso de producción de las imágenes

El papel que las imágenes de satélite desempeñan en el desarrollo del nuevo mapa de Andalucía tiene la doble y clásica vertiente de ser el soporte cartográfico y la fuente para la obtención de la información sobre los usos y coberturas vegetales del suelo, por lo que los tratamientos preliminares al proceso de fotointerpretación han sido particularmente analizados con vistas a potenciar el uso de las imágenes.

Podríamos describir el proceso llevado a cabo para la elaboración de las ortoimágenes de forma resumida en tres grandes grupos de operaciones de tratamiento digital, implementándose de forma íntegra mediante el paquete de tratamiento de imágenes AMATEL (Lobato y Moreira, 1993).

Así un primer grupo de operaciones han sido las desarrolladas para la corrección geométrica de las imágenes. Para ello el nuevo planteamiento se ha basado en la utilización, siempre que

fuera posible, de escenas completas y aplicando ecuaciones polinómicas de grado 3. Al abordar unitariamente la corrección de escenas completas se ha comprobado que los ajustes son mejores debido a la utilización de un único polinomio de corrección para una superficie más extensa, con un mayor número de puntos de control y con una mejor distribución de estos últimos.

Un segundo grupo de operaciones lo constituyen las tareas para la realización de un mosaico digital de las ortoimágenes, con la intención de reducir al mínimo las posibles fuentes de desajuste en las fases intermedias de producción de la cartografía. Ello ha implicado el desarrollo de una nueva programación para una serie de tratamientos en cadena entre los que se incluye la búsqueda automática del área de solapamiento de las dos escenas, la ejecución de operaciones de normalización de los histogramas de ambas escenas, y, como último proceso, el trazado de la costura o casado de las hojas cartográficas.

Una vez generado el mosaico digital, se iniciaron las tareas de realce y restitución como fase final del proceso de producción de las ortoimágenes. Este grupo de tratamientos comprende básicamente operaciones de remuestreo del pixel, aplicación de filtro laplaciano y expansión de histogramas de cara a optimizar el contraste interno y la calidad visual del producto final. Finalmente el volcado de las imágenes se realizó mediante impresora de inyección de tinta de alta calidad a la escala de trabajo requerida.

## 2.2 Diseño de la nueva leyenda

### 2.2.1 Definición de criterios de la leyenda

Como punto de partida para la definición de la nueva leyenda del mapa de usos y coberturas vegetales del suelo de Andalucía se procedió a realizar un análisis crítico de los principales conflictos experimentados durante la aplicación de la anterior leyenda CORINE-Land Cover. Entre éstos, se detectó, en algunos casos, una escasa correlación entre las características definidas para una clase determinada y su identificación a través del material de base empleado en la fotointerpretación (ortoimagen, fotografía aérea), debido en parte a la mezcla de criterios tales como uso, composición florística ( en el caso de vegetación natural ), estructura, etc. de casi imposible reconocimiento sobre el material fotográfico o imágenes y dificultando por tanto, la labor del fotointérprete.

Para obviar este tipo de problemas y como criterios generales para la definición de esta nueva nomenclatura, se establecieron la adaptación a la realidad físico-natural propia del ámbito mediterráneo, y especialmente, la de la región andaluza y la conservación de una estructura jerárquica que asegurase su compatibilidad, por agregación de clases, con el nivel 3 de la leyenda CORINE.

Como criterios más específicos, se consideraron el máximo desglose en los contenidos de la leyenda teniendo en cuenta los elementos básicos a partir de los cuales se extrae la información (imágenes de satélite a E 1/100.000 y fotografía aérea a E 1/25.000), y las necesidades impuestas por su utilización en distintos modelos relativos a la evaluación y seguimiento de problemáticas medioambientales.

#### 2.2.2. Estructura de la leyenda

Una vez establecidos los criterios generales y técnicos de la nueva leyenda se procedió a su estructuración, resultando un total de 152 clases frente a las 100 clases individualizadas en el Proyecto CORINE-Land Cover España.

La estructura general de la leyenda presenta, en su primer nivel, la misma organización que su antecesora: superficies edificadas e infraestructuras, territorios agrícolas, áreas forestales

MAPA DE OCUPACION DE ESPAÑA 1987	MAPA DE USOS Y COBERTURAS VEGETALES DE ANDALUCÍA 1991
<p>2. TERRITORIOS AGRICOLAS</p> <p>2.1 TIERRAS LABRADAS</p> <p>2.1.1 CULTIVOS DE SECANO</p> <p>2.1.2 CULTIVOS DE REGADÍO PERMANENTES</p> <p>2.1.2.1 CULTIVOS HERBACEOS DE REGADÍO</p> <p>2.1.2.2 FRUTALES EN REGADÍO</p> <p>2.1.2.2.1 CÍTRICOS</p> <p>2.1.2.2.2 FRUTALES TROPICALES</p> <p>2.1.2.3 OTRAS ZONAS DE IRRIGACION</p> <p>2.1.3 ARROZALES</p> <p>2.2 CULTIVOS PERMANENTES</p> <p>2.2.1 VIÑEDOS</p> <p>2.2.2 FRUTALES DE SECANO</p> <p>2.2.1 OLIVARES</p> <p>2.3 PRADERAS</p> <p>2.3.1 PRADERAS</p> <p>2.4 ZONAS AGRICOLAS HETEROGÉNEAS</p> <p>2.4.1 CULTIVOS ANUALES ASOCIADOS A CULTIVOS PERMANENTES</p> <p>2.4.2 MOSAICO DE CULTIVOS</p> <p>2.4.2.1 ANUALES CON PRADERAS Y/O PASTIZALES</p> <p>2.4.2.2 DE CULTIVOS PERMANENTES</p> <p>2.4.2.3 ANUALES Y PERMANENTES</p> <p>2.4.3 CULTIVOS ANUALES O PERMANENTES CON ESPACIOS DE VEGETACION NATURAL</p> <p>2.4.4 SISTEMAS AGROFORESTALES</p>	<p>3. TERRITORIOS AGRICOLAS.</p> <p>3.1. UNIDADES AGRICOLAS HOMOGÉNEAS.</p> <p>3.1.1. UNIDADES AGRICOLAS HOMOGÉNEAS EN SECANO.</p> <p>3.1.1.1. CULTIVOS HERBACEOS EN SECANO.</p> <p>3.1.1.2. CULTIVOS LEÑOSOS EN SECANO.</p> <p>3.1.1.2.1. OLIVAR.</p> <p>3.1.1.2.2. VIÑEDO.</p> <p>3.1.1.2.3. OTROS CULTIVOS LEÑOSOS EN SECANO.</p> <p>3.1.2. UNIDADES AGRICOLAS HOMOGÉNEAS EN REGADÍO.</p> <p>3.1.2.1. CULTIVOS HERBACEOS EN REGADÍO.</p> <p>3.1.2.1.1. ARROZALES.</p> <p>3.1.2.1.2. CULTIVOS FORZADOS BAJO PLÁSTICO.</p> <p>3.1.2.1.3. OTROS CULTIVOS HERBACEOS EN REGADÍO.</p> <p>3.1.2.2. CULTIVOS LEÑOSOS EN REGADÍO.</p> <p>3.1.2.2.1. CÍTRICOS.</p> <p>3.1.2.2.2. FRUTALES TROPICALES.</p> <p>3.1.2.2.3. OTROS FRUTALES EN REGADÍO.</p> <p>3.2. ÁREAS AGRICOLAS HETEROGÉNEAS.</p> <p>3.2.1. UNIDADES AGRICOLAS HETEROGÉNEAS EN SECANO.</p> <p>3.2.1.1. DE CULTIVOS HERBACEOS Y LEÑOSOS.</p> <p>3.2.1.2. DE CULTIVOS LEÑOSOS.</p> <p>3.2.1.2.1. OLIVAR-VIÑEDO.</p> <p>3.2.1.2.2. OTROS.</p> <p>3.2.2. UNIDADES AGRICOLAS HETEROGÉNEAS EN REGADÍO.</p> <p>3.2.2.1. DE CULTIVOS HERBACEOS Y LEÑOSOS.</p> <p>3.2.2.2. DE CULTIVOS LEÑOSOS.</p> <p>3.2.3. MOSAICOS DE CULTIVOS EN SECANO Y REGADÍO.</p> <p>3.2.3.1. DE CULTIVOS HERBACEOS Y LEÑOSOS.</p> <p>3.2.3.2. DE CULTIVOS LEÑOSOS.</p> <p>3.2.3.3. DE CULTIVOS HERBACEOS.</p> <p>3.2.4. MOSAICOS DE CULTIVOS CON ESPACIOS DE VEGETACION NATURAL.</p> <p>3.2.4.1. DE CULTIVOS HERBACEOS Y VEGETACION LEÑOSA.</p> <p>3.2.4.2. DE CULTIVOS LEÑOSOS Y VEGETACION LEÑOSA.</p> <p>3.2.4.3. OTROS MOSAICOS DE CULTIVOS Y VEGETACION NATURAL.</p> <p>3.2.4.4. CULTIVOS ABANDONADOS.</p> <p>3.2.4.4.1. OLIVAR ABANDONADO.</p> <p>3.2.4.4.2. OTROS CULTIVOS LEÑOSOS ABANDONADOS.</p>

Tabla I.- Estructura de la leyendas CORINE-Land Cover ( nivel nacional) y Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía para las superficies agrícolas

Es a partir del segundo nivel donde comienzan a percibirse la diferenciación de criterios, y especialmente para los grupos mayoritarios correspondientes a superficies agrícolas y superficies forestales y naturales.

Los territorios agrícolas, con un desglose máximo de 38 clases (ver Tabla I), se subdividen en primer lugar según su homogeneidad (áreas homogéneas y áreas heterogéneas o de mosaico de cultivos).

En el siguiente nivel, el criterio empleado es definido por el régimen de los cultivos (secano y regadío). El cuarto nivel jerárquico diferenciará en función de que se trate de cultivos leñosos o herbáceos. En el quinto y último escalón jerárquico serán los taxones (olivar, viñedo, cítricos, tropicales, etc.) los que permiten individualizar las diferentes clases.

Respecto a la estructura que presenta la leyenda para las zonas forestales y naturales es la que ha sufrido una más profunda reestructuración, con una notable ampliación de sus contenidos hasta llegar a un desglose de 69 clases.

En la Figura 1 se muestran gráficamente los criterios seguidos para establecer la estructura jerárquica en el grupo de las formaciones arboladas. Como puede apreciarse, dichos criterios, aplicables al resto de los tipos de superficies forestales y naturales considerados, responden principalmente a la estructura vertical y densidad de las formaciones vegetales, reduciendo la clasificación taxonómica al último nivel.

Con estas bases, el primer criterio aplicado para distinguir los grupos de formaciones arboladas parte de la identificación de una cobertura arbórea superior al 5%. Cuando no se cumpla tal condición, se considerarán formaciones no arboladas, procediendo a establecer los siguientes grupos según el estrato dominante (formaciones de matorral no arbolado, formaciones de pastizal no arbolado y espacios con poca o sin vegetación).

En el siguiente nivel jerárquico (nivel III) se aplican idénticas condiciones de estructura vertical y densidad de la cubierta vegetal para individualizar los distintos grupos. Así, se va verificando sucesivamente la condición de formaciones arboladas densas, formaciones de matorral denso con arbolado, formaciones de matorral disperso con arbolado, formaciones de pastizal con arbolado y, en el último estrato, las formaciones de cultivos herbáceos con arbolado. En el cuarto nivel se lleva a cabo la clasificación o taxonomía de las formaciones arboladas, considerando las más representativas en el espacio regional: quercíneas, coníferas, eucaliptos, otras frondosas, y formaciones mixtas de las anteriores clases. En el último nivel, se hace una nueva distinción solamente aplicada a los grupos mayoritarios de quercíneas y coníferas en función de la densidad de arbolado: denso ( entre el 50 % y el 25 % de cobertura) y disperso ( entre el 25 % y el 5 %) de cara a obtener mejores resultados en el cálculo de modelos como erosión y combustibles forestales.

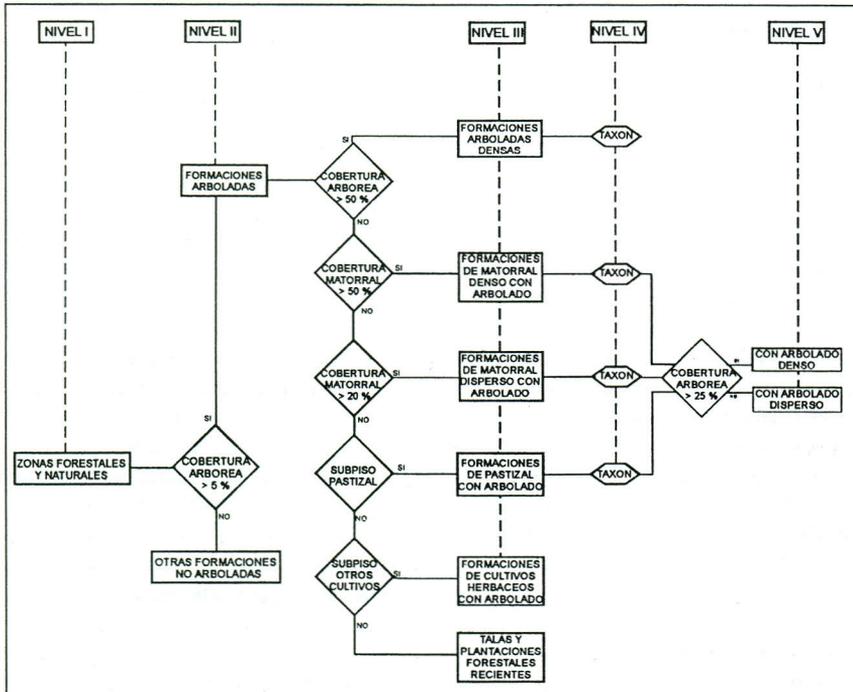


Figura 1.- Estructura y criterios de la leyenda. Ejemplo del grupo de las formaciones arboladas

### 2.3.- Validación de la cartografía

Una vez generada la cartografía y completadas las fases de digitalización y puesta en base de datos se llevó a cabo un proceso de validación en campo con el objeto de conocer su grado de fiabilidad y valorar su utilidad en el desarrollo de modelos de evaluación de recursos naturales, y específicamente, en la determinación de modelos de combustibles

vegetales de cara a la prevención de incendios forestales.

Para ello se realizó un muestreo aleatorio de 3000 puntos que fueron visitados sobre el terreno y se diseñó una ficha de campo contemplando, entre otros, el error o acierto en la fotointerpretación, la posibilidad de haberse producido un cambio entre el año 91 y la fecha de visita en campo y la asignación del modelo de combustible en el caso de superficies forestales.

### **3.- RESULTADOS, ALCANCE Y PERSPECTIVAS DE LA NUEVA CARTOGRAFIA**

Desde una consideración puramente técnica, podemos afirmar que los resultados obtenidos a partir del trabajo de validación en campo han mostrado unas cifras plenamente satisfactorias, en la que la tasa de error global de la cartografía digital se aproxima a un 5% (4,96%) para un intervalo de confianza al 95%.

Sin embargo, son los resultados obtenidos a partir de la explotación directa de los datos, como los obtenidos de su intervención en los modelos de análisis de problemáticas ambientales los que merecen un comentario aparte dado su alcance.

La redefinición de la nueva leyenda, especialmente en las clases forestales y naturales, junto a su condición digital permite dar respuesta con facilidad de acceso y explotación a las necesidades de información que exige hoy en día la gestión y planificación de los recursos y espacios naturales. En este sentido, la introducción de criterios de estructura vertical y densidad de cubierta vegetal facilitan el seguimiento, tanto espacial como cuantitativamente, del estado de conservación o degradación de las formaciones vegetales (ver Figura 2).

De la misma manera este tipo de estrategia facilita el desarrollo con mayor exactitud de algunos de los modelos de evaluación implementados en el Sistema de Información como son los modelos de pérdidas del suelo, que requieren valores de densidad de la cubierta vegetal para calcular la protección del suelo, o los modelos de prevención y evaluación de incendios forestales, en los que se requiere información relativa a la estructura vertical de las formaciones forestales de cara a establecer la combustibilidad de las masas.

En el contexto de explotación de los datos, la Consejería de Medio Ambiente ha realizado ya una primera publicación a partir del tratamiento de los datos de 1987 del proyecto CORINE-Land Cover junto a otras informaciones residentes en el Sistema de Información, en un volumen que reúne una edición cartográfica a escala 1:400.000 y un resumen estadístico de los principales tipos de usos y ocupación del suelo para el ámbito regional, provincial y municipal. Respondiendo al compromiso de actualización de la información con carácter cuatrienal, se hallan en curso los trabajos para la publicación próxima de los datos de 1991.

En relación a la actualización de la cartografía, han sido realizados, como paso previo, diversos esfuerzos para establecer el procedimiento de actualización. Entre ellos, se encuentra la experiencia en la valoración de un software encargado por la DG-XI de la Comunidad Europea a través del Centro Común de Investigación de Ispra para la actualización de la base de datos CORINE-Land Cover. Esta experiencia ha puesto de manifiesto que el alcance en la actualización de la cartografía CORINE-Land Cover, independientemente del procedimiento empleado, se ve condicionado por la propia concepción de su leyenda, más enfocada a la consideración de los usos del suelo y con los problemas de ambigüedad de criterios comentados. Así, las imágenes demostraron durante la prueba de valoración una gran capacidad y eficacia para detectar cambios en la ocupación del suelo que, sin embargo, no pudieron ser recogidos en la cartografía si no implicaban un cambio en la clasificación de usos contemplada en la leyenda.

En este sentido, la nueva leyenda planteada en el mapa de Andalucía demuestra mayores

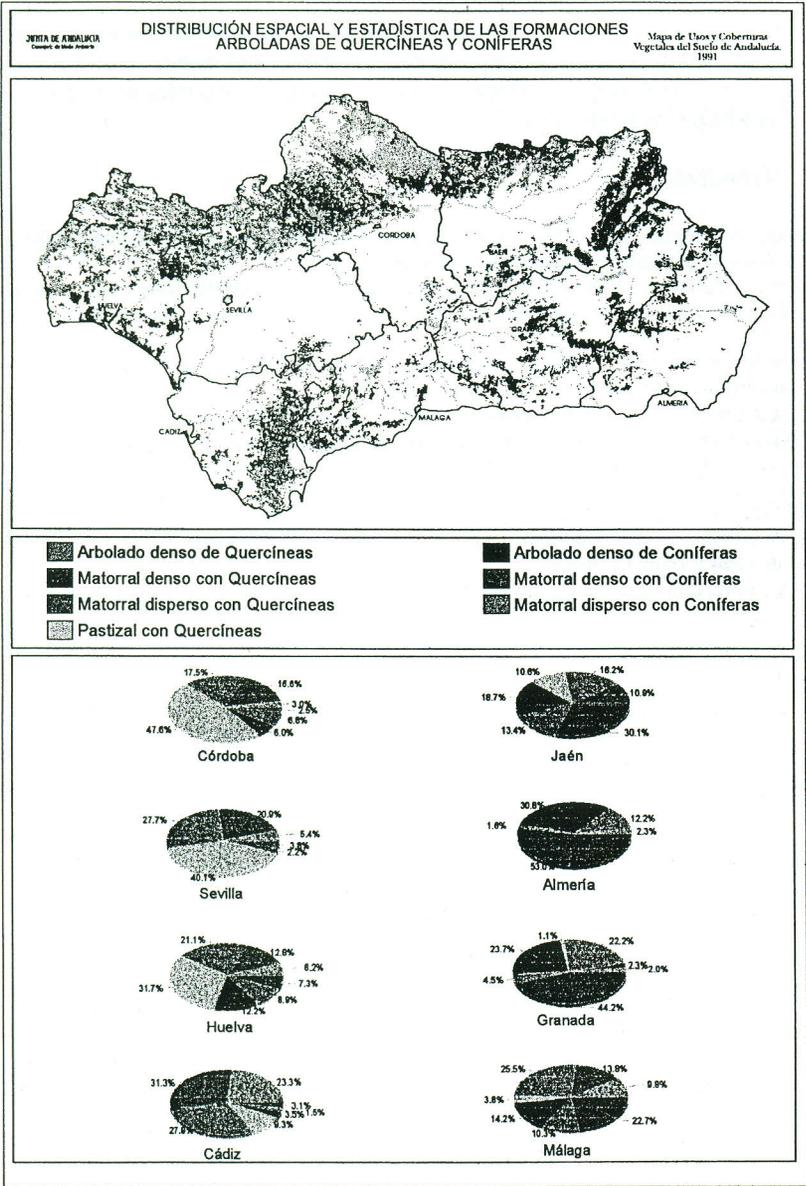


Figura 2.- Distribución espacial y estadística de formaciones arboladas de quercíneas y coníferas (C. 50)

niveles de operatividad en cuanto que presenta una elevada sensibilidad para recoger las modificaciones espaciales, especialmente en el tipo de ocupación y la cubierta vegetal del suelo, permitiendo de este manera un verdadero programa de seguimiento de los cambios del territorio.

Por último, es de destacar que el nivel de definición de la información es imputable a la escala de trabajo 1:50.000, lo que ha permitido establecer una nueva orientación para los trabajos de actualización de la cartografía de usos y coberturas vegetales de Andalucía al año 1995 que darán comienzo en 1996.

#### 4.- REFERENCIAS

Agencia de Medio Ambiente, 1994. *Report of the Test of the Prototype System for the Updating of the CORINE-Land Cover Junta de Andalucía*. Sevilla. (Informe no publicado)

Agencia de Medio Ambiente, 1994. *Análisis y valoración del prototipo CORINE-Land Cover. Explotación de la base de datos de usos y coberturas vegetales del suelo de Andalucía*. Junta de Andalucía. Sevilla. (Informe no publicado)

Consejería de Medio Ambiente, 1995 *Usos y Coberturas Vegetales del Suelo en Andalucía. Seguimiento a través de imágenes de satélite*. Junta de Andalucía. Sevilla

CORINE Land Cover Technical Unit, 1996. Updating of the CORINE Land Cover Data Base. Summary Report. Agencia Europea de Medio Ambiente. Comisión de Las Comunidades Europeas. Copenhague

Heyman, y. et al. 1993. *CORINE-LAND COVER. Guide Technique*. Dirección General de Medio Ambiente, Seguridad Nuclear y Protección Civil. Comisión de las Comunidades Europeas. Luxemburgo

Lobato, A y Moreira, J.M. 1993. AMATEL, un "software" abierto para el tratamiento de información ráster en un Sistema de Información Ambiental. V Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección. Las Palmas de Gran Canaria (en prensa)

Moreira, J.M. 1992, *Capacidad de Uso y Erosión de suelos*. Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.