

APLICACIÓN DE LAS FUNCIONES SIG DE ANÁLISIS ESPACIAL Y MODELIZACIÓN CARTOGRÁFICA DE PROCESOS A LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PLANEAMIENTO URBANÍSTICO.

FEDERICO BENJAMÍN GALACHO JIMÉNEZ

RESUMEN.

En un marco como el de los estudios de impacto ambiental del planeamiento urbanístico y con el objetivo principal de valorar los posibles efectos que, sobre el medio ambiente, puedan producir las actuaciones urbanísticas e infraestructurales propuestas por los documentos de planeamiento y con la finalidad de contribuir en la toma de decisiones de una manera activa de cara al desarrollo equilibrado de dichas actuaciones, hemos aplicado las herramientas analíticas de superposición espacial de capas temáticas en el contexto de los Sistemas de Información Geográfica en un proceso metodológico desarrollado para la generación de un modelo cartográfico que facilite la interpretación de la hechos geográficos acerca de un problema del mundo real como el que nos ocupa.

ABSTRACT.

In a framework as that of the environmental impact studies of the urban planning and with the principal objective of valuing the possible effects that, on the environment, they could produce the performances urban and infrastructural proposed by the planning documents and in order to contribute in one way active decisionmaking of face to the balanced development of such performances, we have applied the analytical tools of spatial overlapping of layers in the context of the Geographical Information Systems in a methodological process developed for the generation of a cartographic modeling that facilitate the interpretation of the geographical facts about a problem of the real world as the one which occupies us.

1. INTRODUCCIÓN.

El marco conceptual en el que se desarrolla la planificación territorial pretende en esencia establecer una aproximación integrada de la valoración del territorio, desde una óptica que optimice las aptitudes del desarrollo de la actividad humana en el territorio y minimize los impactos y desajustes ambientales que ésta produce. En este contexto, se intentan encajar los procesos de Evaluación de Impacto Ambiental, encaminados a valorar las características del medio como claros condicionantes del desarrollo y que se constituyen en fundamentales en la toma de decisiones sobre las alternativas de desarrollo y ocupación.

Las distintas metodologías y aplicaciones de carácter general desarrolladas para los estudios de impacto ambiental de actividades concretas (una autovía, una industria contaminante, un aeropuerto, etc.) no encajan del mismo modo cuando entramos a evaluar el planeamiento urbanístico. La perspectiva del medio ambiente en la planificación urbanística descansa en un sistema de relaciones de gran complejidad y requiere un intenso nivel de investigación apoyado en las posibilidades ofrecidas por la tecnología SIG.

Por otra parte, en Andalucía la elaboración de los estudios de impacto ambiental del planeamiento urbanístico se desarrollan en orden a la aplicación de la Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental de Andalucía y su Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental desarrollado en el Decreto 292/1995, de 12 de diciembre, y atendiendo en concreto al apartado 20 del anexo de dicho Reglamento donde se establece textualmente lo siguiente: *“Se entenderán sujetos a este Reglamento los Planes Generales de Ordenación Urbana y las normas subsidiarias y las normas complementarias o las figuras urbanísticas que los sustituyan, así como sus revisiones o modificaciones, siempre que introduzcan elementos que afecten potencialmente al medio ambiente y que no se hubiesen puesto de manifiesto anteriormente en figuras previas de planeamiento. En este sentido, se consideran elementos que afectan potencialmente al medio ambiente los referidos a la clasificación del suelo, sistemas generales y suelo no urbanizable”*.

Así pues, en estos estudios se han de considerar las actuaciones que pueden afectar potencialmente al medio ambiente, aquellas que suponen la reclasificación de suelos no urbanizables como urbanizables (no existe ningún caso en que se hayan reclasificado como urbanos); no considerándose actuaciones que pueden afectar al medio ambiente las propuestas sobre el suelo no urbanizable que, partiendo del propio estudio de impacto ambiental, se puedan incluir en el planeamiento precisamente para garantizar la protección y mejora del medio físico, adaptando la normativa propuesta a la normativa ambiental y sectorial vigente.

En todo caso el principal objetivo de estos estudios es el de valorar los posibles efectos que, sobre el medio ambiente, puedan producir las actuaciones urbanísticas e infraestructurales propuestas por los documentos de planeamiento con la finalidad de contribuir de una manera activa al desarrollo equilibrado de dichas actuaciones.

Para ello se identifican las acciones que pueden afectar potencialmente al medio ambiente, se valora el impacto que pueden producir las mismas en función de la calidad ambiental del territorio y de su capacidad de acogida de usos, se diseñan las medidas correctoras que minimicen dichos impactos, se proponen unas medidas de control y seguimiento que permitan detectar las desviaciones sobre lo previsto, posibilitando así su corrección y se establecen, según los casos, unas medidas específicas sobre los condicionantes y singularidades a considerar en los procedimientos de prevención ambiental exigibles a las actuaciones de desarrollo del planeamiento.

Considerando este proceso metodológico, expondremos aquí los resultados de aplicar las funciones analíticas de superposición espacial en el contexto de los Sistemas de Información Geográfica. Pero debemos tener en cuenta y como expone Burrough (Burrough, 1986), que la intersección de dos o más capas de información por superposición es, en esta ocasión, el resultado final de una serie de operaciones mucho más complejas y largas que se han venido desarrollando para analizar la información geográfica de nuestro área de estudio.

Bajo estas consideraciones, intentamos cumplir dos objetivos: en primer lugar, la plasmación en mapas temáticos de todo un conjunto de análisis sobre el medio físico necesarios para evaluar el ámbito al que afectan las actuaciones propuestas en el documento de planeamiento analizado, y en segundo lugar, la delimitación, a partir de los mapas temáticos anteriores, de unidades ambientales homogéneas. Se trata, pues a través de estas herramientas, de facilitar la interpretación de los hechos recogidos, reales y dispuestos de manera genérica en registros de unas bases de datos. Dichos registros se traducen mediante estas funciones en hechos presentados de una manera específica y útil, convirtiéndose por tanto en información con significado.

La aplicación de las funciones de análisis espacial a la definición y delimitación de unidades homogéneas cuyos rasgos determinantes sean los de sus cualidades naturales o ambientales consiste en esencia en hacer una división espacial de la totalidad del territorio municipal, al cual se inscribe por ley el planeamiento urbanístico, en unidades ambientales irregulares y extensas buscando la homogeneidad de los elementos definitorios mediante la combinación de indicadores ambientales como la homogeneidad fisiográfica (topografía y pendientes), la geología, los usos del suelo y el paisaje. En la definición de las unidades ambientales homogéneas se busca también que reaccionen con comportamientos similares en lo relativo a aptitudes y limitaciones de uso, por

lo que se utilizan técnicas de evaluación multicriterio también basadas en la tecnología SIG. La finalidad de la definición y delimitación de unidades homogéneas radica en poder realizar una caracterización de criterios racionales con los que es posible diseñar estrategias óptimas en diferentes sentidos, aunque destacan los de usos del suelo y utilización-consumo de sus recursos naturales.

El camino metodológico para la definición de unidades homogéneas se fundamenta en la superposición automática y topológica de capas temáticas de información geográfica. Así, se elaboran una serie de mapas temáticos de los diferentes elementos o rasgos característicos como los citados y posteriormente se combinan mediante técnicas automáticas de superposición de capas de información, pero siempre después de haber establecido los criterios de análisis pertinentes.

Como es bien sabido, tecnológicamente, las metodologías de superposición y correlación entre las diversas capas de información mediante programas SIG han evolucionado notablemente en los últimos años. Se ha pasado de un simple almacenamiento de información en banco de datos a la disposición lógica y estructurada de la información geográfica. Se pueden utilizar, por ejemplo, las estructuras de datos de árbol «quadtree» u «octree» para la representación de datos espaciales (Samet, 1990). Así, esta concepción estructurada de la información geográfica permite la obtención de nueva información a través de la formalización de los patrones de interrelación entre los elementos geográficos de la bases de datos, de gran interés para la gestión medioambiental y la generación de cartografía temática para el análisis o la toma de decisiones operativas en cualquier momento del proceso.

Los procesos que seguimos en la obtención de las unidades ambientales para el estudio de impacto ambiental del planeamiento urbanístico, parten de la elaboración de los mapas temáticos, que deben proporcionar la suficiente información para profundizar en el conocimiento de la realidad. Siguen en la fase de inventario, definición y análisis de la información sobre el medio de estudio y continua, en este punto, mediante el tratamiento objetivo por medios informáticos de todas las variables e información recogida y elaborada. En esta etapa del proceso, mediante las posibilidades técnicas de superposición topológica y automática ofrecidas por las herramientas del Sistema de Información Geográfica, se generan las unidades ambientales. Éstas provienen básicamente de la combinación automática de las capas de información y bases de datos asociadas de topografía, pendientes, geología, usos del suelo y unidades de paisaje.

Como producto final se elaboran un conjunto de mapas temáticos, que constituyen la presentación de los resultados obtenidos con la aplicación del Sistema de Información Geográfica a la definición de las unidades ambientales, además de resaltar las enormes posibilidades de generación de cartografía de estos sistemas.

Antes de avanzar en los apartados que siguen debemos decir que no insistiremos en la estructura de la aplicación presentada, sino que esquemáticamente expondremos los fundamentos principales que justifican el modelo para no cansar al lector con una abundancia en los planteamientos más áridos, y no por ello menos esenciales, del método aplicado y del modelo cartográfico generado.

2. PROCESO METODOLÓGICO EN LA DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN CARTOGRÁFICA DE UNIDADES AMBIENTALES.

2.1. Consideraciones generales.

Según nuestra opinión, la elaboración de mapas temáticos por medio de técnicas de análisis espacial y la delimitación cartográfica de unidades ambientales a través de ordenador podría estar perfectamente enmarcada en el campo de la construcción de **modelos cartográficos**. En primer lugar, porque tanto con los mapas temáticos analíticos como con la definición y delimitación de unidades ambientales se persigue conseguir una representación simplificada de un espacio geográfico en la que se contengan sus propiedades más representativas, con lo que hablamos de modelo. En segundo lugar, porque la variedad de características cartografiables, normalmente relacionadas con una determinada ubicación geográfica, puede organizarse como una serie de mapas registrados espacialmente.

Como exponen Comas y Ruiz (Comas y Ruiz 1993, 155), *«conceptualmente podemos entender cualquier proceso de análisis de la información geográfica en un SIG como una interacción entre las preguntas planteadas por el usuario, las respuestas obtenidas y las funciones del sistema utilizadas para extraerlas de la base de datos geográficos»*. De este modo, las operaciones analíticas utilizadas en este proceso metodológico son parte del contexto específico de la aplicación. Con ello queremos decir que si bien las variables seleccionadas (topografía, pendientes, geología, hidrología, usos del suelo y unidades de paisaje), lo han sido en función de que cumplan requisitos estrictamente fisicoambientales; si se extraen y organizan en una forma lógica las operaciones básicas del manejo de mapas, es posible desarrollar una base para la estructura de modelos generalizados. Dentro de este contexto, las operaciones cartográficas básicas son análogas a las operaciones matemáticas tradicionales. La secuencia de las operaciones cartográficas es similar a la solución algebraica de las ecuaciones para despejar incógnitas. En este caso, sin embargo, las incógnitas representan mapas enteros. El esquema conceptual que interrelaciona estas operaciones fundamentales constituye la base para una estructura de modelo que pueda adaptarse a una amplia variedad de análisis a

través del ordenador. Análisis que tengan la finalidad de representar y estudiar de modo simple y comprensible una porción de la realidad empírica a través del conjunto de sus relaciones.

A continuación se exponen las consideraciones fundamentales de las estructuras de los datos y de su procesamiento. La aplicación se ha realizado en la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental de la Revisión-Adaptación del Plan General de Ordenación Urbana de Córdoba.

2.2. La información temática seleccionada para la elaboración de las unidades ambientales.

Para poder usar las operaciones básicas en la construcción de un modelo cartográfico para la definición y delimitación de unidades ambientales, es necesario contar con dos requisitos fundamentales: 1. Una estructura de datos comunes y 2. Una estructura flexible de procesamiento. La variedad de características cartografiables normalmente relacionadas con una determinada ubicación geográfica se organizan en mapas temáticos. De este modo, cada ubicación cartográfica se caracteriza específicamente en términos de una sola propiedad temática. El mapa resultante final de unidades ambientales, es el contrapunto a esto, ya que, en él cada punto se caracteriza específicamente en términos de su elevación topográfica, sus pendientes, su geología, sus usos del suelo y las formas homogéneas de unidades de paisaje.

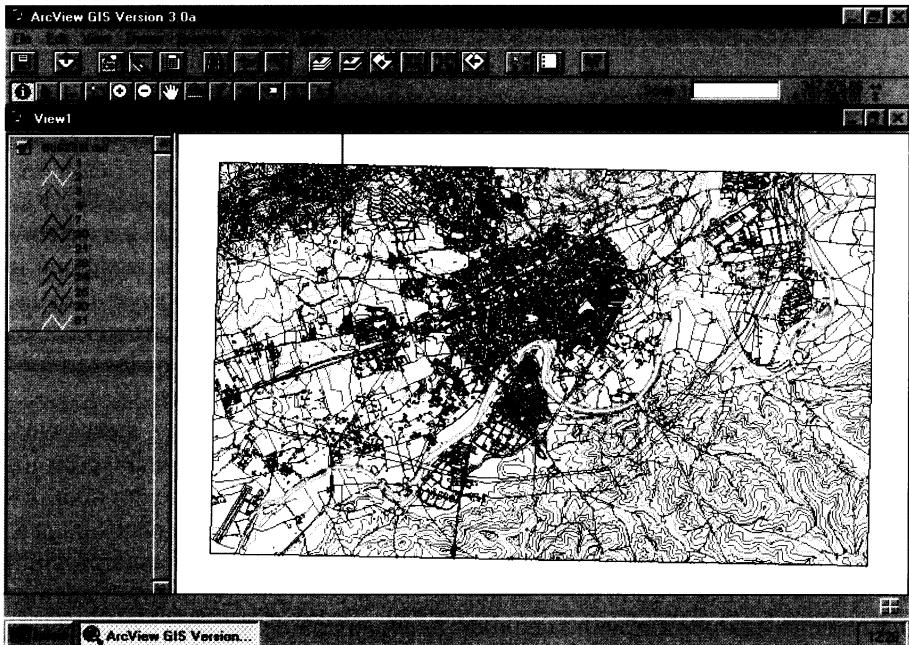
Aunque la estructura de superposición de los datos es una forma natural de organizar la información geográfica, no es en modo alguna la única. Otra tipologías estructuran ésta de acuerdo a cómo varían entre sí los datos relativos al tiempo, a la ubicación y al tema (cuándo, adónde y qué). En este sentido, el formato de superposición que utilizamos es el que registra ubicaciones exclusivas para cada uno de una serie de temas en un momento dado. Al igual que en cualquier tipo de procesamiento de datos, la forma en que éstos se estructuran tiene un efecto significativo en la manera cómo se manejan. No obstante, el formato de superposición es el tipo de organización más adecuado para una gran variedad de técnicas de análisis espacial de mapas.

Las instalaciones de procesamiento de datos que más se usan para los Sistemas de Información Geográfica están organizadas como una serie de operaciones individuales que funcionalmente son independientes pero que pueden aplicarse a una base de datos común. Las operaciones de reestructuración de los datos han sido diseñadas de manera tal que cada una acepta entradas y genera salidas, mapa temático por mapa temático. Al controlar el orden en que se ejecutan las operaciones y al utilizar las bases de datos para almacenar los resultados de cada operación con el fin de procesarlos más adelante, es posible construir una variedad de procedimientos o de modelos cartográficos más sofisticados.

Como se ha dicho, la estructura de datos utilizada se basa en el uso de mapas temáticos. Cada mapa se compone de un título, algunos parámetros descriptivos y un grupo de categorías. Cada categoría es sencillamente una de las designaciones temáticas que se utilizan en una capa de información para representar las ubicaciones o posiciones geográficas. En resumen, encontraremos tres tipos de información contenida en estos mapas digitales:

1. **Datos geográficos o descriptivos**, que proporcionan información sobre las formas y posiciones de los accidentes geográficos, que se almacenan como puntos, líneas, arcos, círculos, elipses, polígonos o bloques.
2. **Datos de atributos o atributos temáticos**, que proporcionan información textual sobre los datos geográficos, almacenándose como datos de objetos de la representación o dibujo, o como datos en una base de datos externa vinculada.
3. **Datos de visualización**, que controlan el modo en que los datos geográficos y atributos temáticos aparecen en la pantalla o en salida gráfica.

El procedimiento de construcción de las bases de datos parte, lógicamente, de la **CREACIÓN DE LOS MAPAS**, bien mediante la digitalización de mapas y/o bien a través de la importación de datos. Importación e integración



de datos procedentes de muchas fuentes incluyendo SERI, SHP, MapInfo, MIF/MID, Intergraph, DGN o DXF, de manera que no hay que crear todos los mapas a partir de cero. También se exportan los datos cartográficos a los formatos mencionados.

Seguidamente, se procede a la EDICIÓN DE LOS MAPAS. La corrección de los errores de la digitalización constituye una tarea muy importante para conseguir datos “limpios”. El procedimiento de edición de la información introducida en el sistema requiere los siguientes pasos fundamentales:

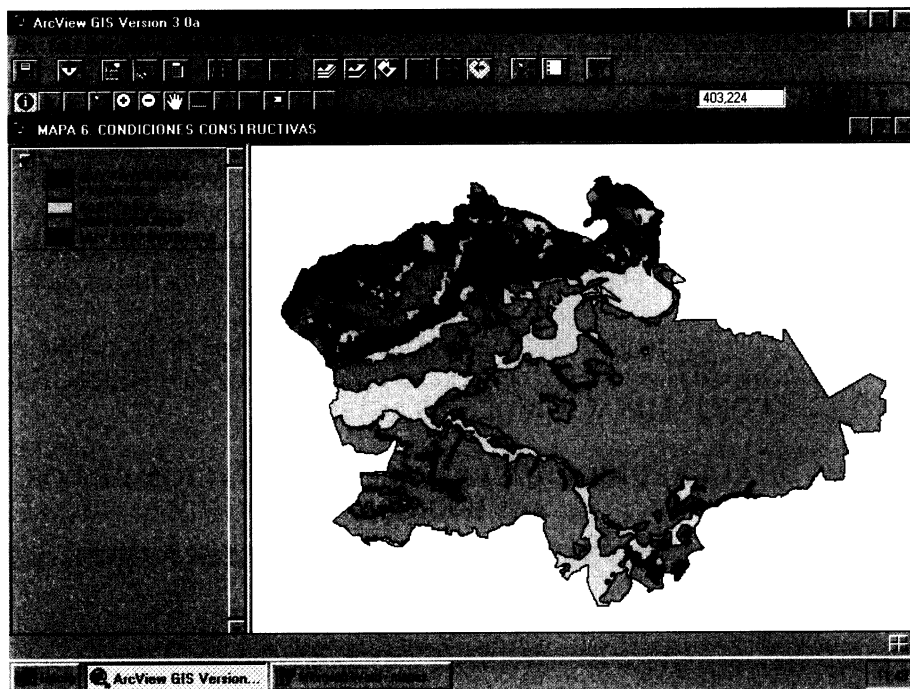
- Georreferenciación de los datos digitalizados en un sistema de coordinación y proyección mundial, principalmente UTM.
- Utilización de herramientas de recorte de límites y corte de bordes de los mapas para crear particiones claras entre objetos y alineación con precisión de los bordes entre hojas de mapas. Selección de áreas de mapas para una inserción aumentada o recorte de un espacio en el mapa para anotaciones de texto o introducción de toponimia. A través de las características de deformaciones elásticas se estiran, rotan y escalan los mapas digitales para compensar las distorsiones físicas del mapa analógico (en papel) original que ha sido utilizado para la digitalización.
- Se trabaja aisladamente con conjuntos de características en grupos de datos grandes, para que la edición de estos subconjuntos de datos sea más manejable y se almacenen los datos de nuevo en los mapas de origen sin tener que trabajar con todo el conjunto de datos a la vez.

Del conjunto de mapas temáticos resultantes de los distintos análisis realizados, y a modo de ejemplo, a continuación mostramos algunos de ellos:

Con el mapa de las **CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DE LOS TERRENOS** se intenta dar una visión de conjunto de las características de los terrenos del término municipal frente a una serie de problemas que se presentan en la planificación, urbana y territorial, haciendo referencia especialmente a los aspectos constructivos, tanto de edificación como de obras de infraestructura, a los procesos y riesgos que pueden plantear y en fin, a una valoración de los terrenos según su incidencia en problemas geotécnicos propiamente dichos.

El suelo, aparte de cómo soporte físico para usos agrícolas y recreativos, es también el soporte de todas las construcciones y como tal influye en los aspectos económicos de toda decisión urbanística. El costo que suponen los terrenos problemáticos sobre las construcciones e infraestructuras es pagado por la comunidad y no se traduce en ningún servicio. Es una inversión inútil siempre que exista alguna posibilidad alternativa. Este sobre costo es además permanente una vez que se ha decidido la expansión de las construcciones en

MAPA DE LAS CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DE LOS TERRENOS.



zonas problemáticas. Por otra parte, todavía más importantes y de valor incalculable son los riesgos para la población que se ubican en zonas peligrosas desde este punto de vista.

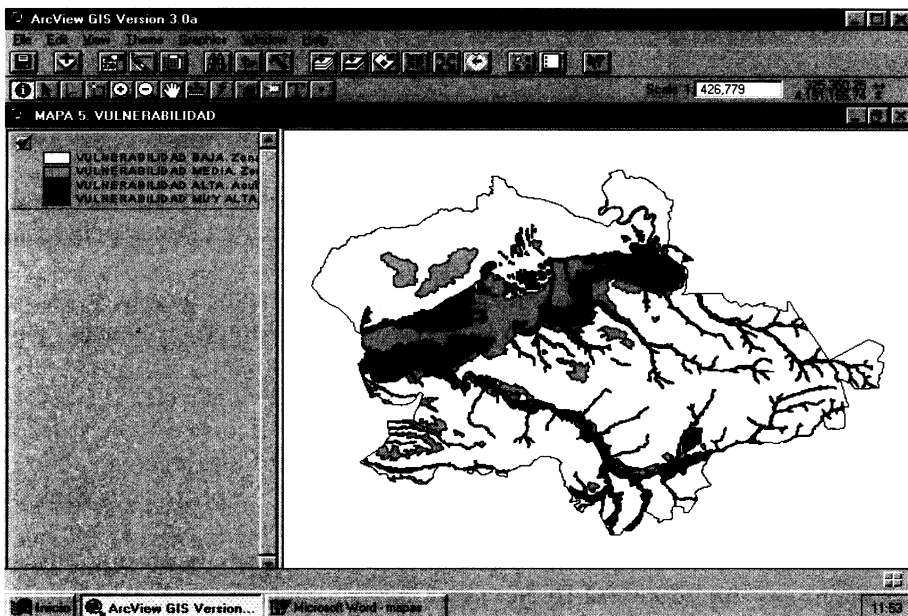
Los fundamentos teóricos utilizados para la elaboración de este mapa son básicamente los utilizados por el Instituto Geológico y Minero de España, aunque estos fundamentos van acompañados de una valoración, y a la vez un grado importante de síntesis que permite compatibilizar el mapa obtenido con los de otros temas. Con el conocimiento del ámbito geográfico de estudio y de los elementos que lo integran, se analizan una serie de factores que afectan a todo el conjunto: climatología, geomorfología, hidrología, aspectos geológicos globales, explotación de materiales para la construcción y riesgos geológicos. Seguidamente se contemplan los aspectos geomorfológicos, tanto en sí mismo como en sus implicaciones frente a este mismo punto de vista; y, a ello se añaden las características hidrográficas e hidrológicas, con una valoración de las condiciones de permeabilidad y drenaje. Todos estos factores son determinantes de la aparición, real o posible, de riesgos geológicos naturales.

Somos totalmente conscientes del complejo problema de pasar de valores puntuales a una valoración extendida, dificultad que se ve agravada cuando en

determinadas zonas aparecen varios tipos litológicos y aún más, diferentes condiciones para la construcción, siendo éstas últimas precisamente las que realmente interesan en una obra puntual y concreta. Por consiguiente, se han contemplado de manera orientativa o valorativa los valores numéricos que definen las diversas propiedades mecánicas estudiadas cuanto mayor sea la homogeneidad de la zona geotécnica o, dicho de otro modo, cuanto menor sea la dispersión de los valores que aquí se incluyen. Esto quiere decir que la realización de cualquier Anteproyecto o Proyecto debería ir acompañado de la consiguiente campaña de Investigación Geotécnica. El mapa de condiciones constructivas orienta sobre el grado de necesidad de la mencionada Investigación Geotécnica.

Como análisis complementario al contenido en el mapa de las condiciones constructivas de los terrenos destacamos el del mapa de VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS.

MAPA DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS.



Para la estimación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos y por extensión de las aguas subterráneas se han tenido en cuenta una serie de factores que en este caso son: factores hidrográficos, factores geológicos, factores topográficos, factores de suelo y factores de vegetación. Se han conside-

rado como más importantes los tres primeros, mientras que la influencia del suelo y la vegetación se puede considerar que aparece implícita en la permeabilidad y capacidad de retención de agua de un terreno respectivamente.

En general se puede decir que la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas crece con la permeabilidad y altura del nivel freático y decrece con la pendiente y profundidad de la roca madre. La permeabilidad del suelo viene definida como la «*capacidad de un suelo para dejar fluir, o transmitir, agua o aire a través de su espesor*» En este sentido, la permeabilidad del suelo depende de su textura, estructura, grado de compactación, contenido en materia orgánica, porosidad, etc., es decir, características que determinan el tamaño de los poros y su capilaridad. (CEOTMA 1984, 189). La importancia de la consideración de este factor radica en la determinación del potencial del suelo para actividades tales como la instalación de fosas sépticas o vertederos (riesgo de filtración de lixiviados o contaminantes hacia capas freáticas), respuesta a drenajes, etc.

Si a este factor se une una red de drenaje poco densa, presencia contrastada de acuíferos y cercanía o presencia de zonas emisoras de productos contaminantes, esta estimación se ve reforzada.

A al vista de toda la información contenida en este apartado de hidrogeología y en los anteriores hemos considerado la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas de cada uno de los tipos de acuíferos estudiados como:

Muy vulnerables	–	Acuíferos libres, aluviales.	(L)
Vulnerables	–	Acuíferos por fisuración.	(F)
Vulnerables	–	Zonas de recarga.	(R)
Poco vulnerables	–	Zonas impermeables.	(I)

2.3. Estructura del proceso cartográfico.

Para poder combinar las operaciones básicas en una forma flexible, es necesario usar una estructura de procesamiento que acepte las entradas y genere las salidas en el mismo formato. Será necesario en el procedimiento de análisis la recuperación o extracción de uno o más mapas del archivo de datos; la manipulación de datos, la creación de un mapa nuevo cuyas categorías estén representadas por valores temáticos definidos como resultado de dicha manipulación; y el almacenamiento del mapa nuevo para su procesamiento posterior.

La naturaleza cíclica de esta estructura de procesamiento es análoga a la evaluación de los “paréntesis anidados” del álgebra tradicional. La secuencia lógica de las operaciones básicas en una serie de mapas forma un modelo cartográfico de aplicación específica. Al igual que en el álgebra tradicional, es

posible identificar las técnicas fundamentales que incluyen varias operaciones básicas (por ejemplo, un mapa de “Capacidad Dispersante de la Atmósfera”) y que son aplicables a diversas situaciones. El uso de operaciones analíticas básicas en la construcción de modelos generalizados puede aplicarse a una variedad de análisis de una manera flexible e intuitiva.

De acuerdo con las estructuras de datos y de procesamiento que acabamos de comentar, es posible considerar cada operación básica como un medio independiente, limitado únicamente por las características temáticas y/o espaciales generales de los datos a los que se está aplicando. Desde el punto de vista del usuario, se pueden establecer tres bloques funcionales, así, la agilidad del sistema puede lograrse siempre y cuando cada operación analítica se incluya en dichos espacios funcionales: gestión de mapas, consulta y análisis de mapas y presentación y trazado de mapas.

A través de la **gestión de mapas** se accede a múltiples mapas y conjuntos de datos a la vez. Se trabaja con conceptos como sesión de trabajo o proyecto para gestionar estos agrupamientos. La *sesión de trabajo* o *proyecto* consiste en un archivo de dibujo que contiene el conjunto de mapas con los que se está trabajando y las definiciones relacionadas tales como las definiciones relacionadas tales como las definiciones del sistema global de coordenadas y las preferencias. Cada vez que se abre una sesión de trabajo, ese conjunto de mapas y datos asociados se encuentran disponibles y listos para utilizar. La sesión de trabajo contienen también las consultas, que es el modo de interrogar a un conjunto de datos, utilizadas con frecuencia con este conjunto de mapas.

El espacio funcional de **consulta y análisis de mapas** ofrece la posibilidad de extraer datos de los mapas en los que se está trabajando mediante el sistema de consultas. Para ello:

Se vinculan los datos geométricos que proporciona información sobre las formas y posiciones de los accidentes geográficos del mapa con datos de atributos que proporcionan información textual sobre los mismos en formatos de base de datos estándar del mercado, entre los que se incluyen dBASE, Paradox, FoxPro, Oracle, Microsoft, SQL Server, y otras bases de datos que cumplen con las especificaciones ODBC. Esta posibilidad de vinculación con bases de datos externas implica que pueden utilizarse datos existentes y anexionarlos a la información geométrica de los mapas sin necesidad de convertir todos los datos, actividad complicada y que precisa mucho tiempo.

Se utilizan las consultas para extraer datos de los mapas en los que se está trabajando. Las consultas son simplemente el modo en que se hacen preguntas a los datos. Se pueden hacer preguntas espaciales, por ejemplo: mostrar cuántas parcelas de terreno hay en un radio de 100 metros de determinado punto o cuántas propiedades hay en 25 metros a cada lado de la líneas central de una autopistas o cuántas granjas hay en la cuenca de un río o que distancia mide

una determinada línea. También pueden hacerse preguntas basándose en los datos asociados con accidentes geográficos. Por ejemplo, mostrar cuántas parcelas de terreno en el mapa tienen un valor superior a las 250.000 pesetas o cuántas porciones censales tienen una población con una edad media superior a los 75 años. Se visualizan gráficamente los resultados de la consulta en la sesión de trabajo.

Se pueden utilizar consultas simples o complejas basadas en la ubicación, datos de objetos no gráficos almacenados en el mapa y datos tabulares almacenados en bases de datos externas. Se pueden guardar estas consultas con la sesión de trabajo o en un archivo externo para utilizarlo con diversas sesiones de trabajo.

Independientemente del modo en que los datos se dibujaron o se introdujeron, se pueden alterar las propiedades de los datos al visualizarlos. Pueden crearse mapas temáticos alterando el color, el tipo de líneas y el texto para mostrar gráficamente las relaciones con los datos de objetos internos o con datos SQL externos (bases de datos relacionales definidas como una colección de archivos relacionados que almacenan tanto una representación abstracta del dominio de un problema del mundo real). Por ejemplo, puede que se hayan dibujado las carreteras de un mapa con líneas simples de color negro con una anchura uniforme, sin embargo, se puede solicitar que los mapas muestren esas carreteras en rojo con anchuras variables dependiendo del volumen de tráfico soportado.

En el espacio funcional de **presentación y trazado de mapas** se utiliza el conjunto de herramientas y procedimientos disponibles en ArcView 3.1. Se dispone de un conjunto completo de herramientas de trazado para las hojas de mapas. Se pueden establecer con facilidad las leyendas y añadir barras de escalas y bloques de título. Pueden guardarse grupos de mapas utilizados frecuentemente como conjuntos de mapas que pueden editarse y trazarse a escalas.

2.4. Estructura del procedimiento.

La fundamentación teórica sobre la que sustentan la mayoría de las SIG actuales sus funciones analíticas, parten del término «*análisis espacial*» esgrimido en los años cincuenta y sesenta por la geografía cuantitativa, desarrollada en los países anglosajones durante esos años. Dicho término hace referencia a un cuerpo de conceptos, métodos y técnicas cuantitativas (Chorley y Hagget, 1964; Claval, 1974; Capel, 1981; Bilingüe, Gregory y Martin, 1984) que de manera selectiva han sido aprovechadas para desarrollar en los noventa las capacidades analíticas de los SIG, aunque la tarea no ha sido banal (Clarke, 1990; Openshaw, 1991; Goodchild, Haining, Wise et alii, 1992).

En este orden de cosas, las operaciones para superponer los mapas relacionan la naturaleza tanto espacial como temática de la información cartográfica. La clase general de operaciones de superposición puede considerarse como un “trabajo de mesa iluminada” tradicional en Geografía. En esta clase de operaciones se encuentran aquellas que comprenden la creación de un mapa nuevo de manera tal que el valor asignado a cada ubicación sea una función de los valores independientes relacionados con esa misma ubicación en dos o más mapas existentes. Se utilizan dos métodos:

1. Uno, de superposición sencilla, específica a una ubicación, el valor asignado en función de la concordancia coordinada por coordinada del alineamiento de los mapas temáticos existentes.
2. Otro, se crean compuestas de categorías complejas, los valores se asignan a regiones temáticas enteras en función de los valores asociados con las regiones contenidas en los mapas existentes. Las principales características de configuración relacionadas con los elementos de área incluyen el **género topológico** y la **convexidad de los límites**. Como es bien sabido, el género topológico hace referencia a la “integridad espacial” de un área; es de sobra conocido por lo que no insistiremos sobre él. Mientras que la convexidad caracteriza la “regularidad” global del parámetro de un área. Esta última es una medida del grafo en que un área se encuentra cercada por su fondo con relación al grado en que el área encierra dicho fondo. La configuración del límite de un área se caracteriza por la razón de su perímetro a su área y se conoce como su índice de convexidad. La configuración más regular es la del círculo que es totalmente convexo y, por lo tanto, no está encerrado por el fondo en ningún punto de su límite. Este uso explícito de la configuración cartográfica como parámetro analítico no es muy conocido. No obstante, en cualquier evaluación visual de datos cartografiados se toma en cuenta el aspecto no cuantitativo de la configuración. Se considera espacialmente prometedora la posibilidad de aplicar técnicas de análisis cuantitativo de la configuración en el campo de la clasificación de imágenes digitales y en el de la construcción de modelos de los hábitats de fauna y flora y de los paisajes. Una mapa de vegetación natural (bosques, etc.), por ejemplo, podría reclasificarse de manera tal que cada especie vegetal se caracteriza de acuerdo con la cantidad relativa de su margen con respecto a la cantidad total de hectáreas y la frecuencia de los claros en su cubierta arbórea. Aquellos espacios que tengan una proporción alta de margen y una frecuencia baja de claros, generalmente constituyen un hábitat de mayor calidad ambiental.

Mientras que el primer método de superposición se basa en el concepto de alineamiento vertical de un grupo de mapas superpuestos, el otro utiliza un mapa previamente definido para identificar los límites de donde se extrae información en una forma resumida horizontal de otro mapa. Se utiliza un tercer método de superposición según el cual cada mapa temático se trata como una observación al evaluar coordenada por coordenada y contorno por contorno una relación matemática o estadística.

La estructuración de los comandos, operaciones básicas y funciones de superposición, que son comunes a una amplia gama de técnicas de análisis de mapas de nivel superior, de una forma sistemática produce la base de un método para la construcción de modelos cartográficos. Dicho método se puede aplicar a una variedad de procedimientos analíticos en una forma común, flexible e intuitiva, análoga a la estructura matemática del álgebra convencional.

3. RESULTADOS DEL MODELO CARTOGRÁFICO.

La finalidad del modelado cartográfico que hemos realizado es además de la realización de mapas de análisis, la delimitación y definición de unidades ambientales, cuyos rasgos determinantes sean los de sus cualidades naturales o ambientales, buscando la homogeneidad de los elementos definitorios mediante la combinación de indicadores ambientales. El modelo evalúa como resultado final la calidad ambiental a la hora del establecimiento de los usos propuestos por el planeamiento urbanístico.

La estructura de este análisis se presenta esquemáticamente como un árbol formado por mapas temáticos y las transformaciones de mapas relacionados con las operaciones básicas. El árbol tienen sus raíces en un mapa de Unidades Ambientales desarrollado a partir de una serie de mapas intermedios que resultan de los datos iniciales sobre litología, pendientes, paisaje, capacidad agrícola del suelo y vegetación natural. Las propiedades temáticas de cada mapa son sencillamente las categorías de su leyenda expresadas en la forma de una lista de valores. Para la representación visual, se utiliza la ponderación de las categorías cualitativas del mapa o su reordenamiento por rangos para generar un mapa nuevo con valores cuantitativos resultantes de la reclasificación de los valores existentes en cada mapa temático. Al mapa de Capacidad Agrícola del Suelo, por ejemplo, se le asignan valores que indican la adecuación relativa de cada tipo de suelo para su desarrollo agrícola, y por tanto, el establecimiento del desarrollo urbano pueden generar la pérdida de suelos muy aptos para usos agrícolas.

Como es bien sabido, las operaciones para la superposición de mapas, ponen de manifiesto la relación entre la naturaleza espacial exclusiva y la natu-

raleza temática de la información cartográfica. Cualquier función específica o conjuntos de comandos de *overlay* que se utilicen con el fin de calcular valores nuevos para las categorías de mapas existentes que se están superponiendo puede variar de acuerdo con la naturaleza temática de los datos que se están procesando y el uso específico de esos datos en un contexto relacionado con la construcción de los modelos. En nuestra aplicación al análisis ambiental se utilizan aquellas funciones y/o aquellos comandos que comprenden la manipulación de valores cuantitativos para generar valores nuevos que son también de naturaleza cuantitativa (posibilidad de cuantificación estadística). No obstante, previamente se realiza una valoración cualitativa de las variables, ya que la adición de mapas cualitativos como los de litología y de usos del suelo podría dar como resultado sumas sin significado alguno puesto que sus valores numéricos no tienen ninguna relación matemática.

Por las características del ámbito de estudio (recordemos, el municipio de Córdoba) destacamos tres grandes unidades: La Sierra, La Vega y La Campiña por lo que se hizo una descripción litológica en tres grupos, en correspondencia con aquellas según sus características propias en el sentido más amplio y establecido algunas subdivisiones en cada grupo atendiendo a criterios petrográficos, estratigráficos o situacionales. Se obtienen los siguientes grupos de materiales según unidades, que quedan, asimismo plasmados en el MAPA DE LITOLOGÍA:

AGRUPACIÓN LITOLÓGICA SEGÚN LAS GRANDES UNIDADES DEL TERRITORIO

LA SIERRA	PLUTÓNICAS	<i>Granito</i>
	METAMORFICAS	
	PALEOZOICAS	<i>Cámbrico Carbonífero</i>
LA CAMPIÑA	TRIÁSICAS	<i>Bunt</i>
	MIOCENAS	<i>Calizas</i>
	MIOCENAS	<i>Margas</i>
	ALÓCTONAS	<i>Margas Miocenas Yesos Triásicos</i>
	PLIOCENAS	<i>Conglomerados</i>
LA VEGA	NIVELES DE TERRAZAS	
	COLUVIONES+NIVELES DE TERRAZAS	
	CONOS DE DEYECCIÓN	
	ALUVIALES	

MAPA DE LITOLOGÍA

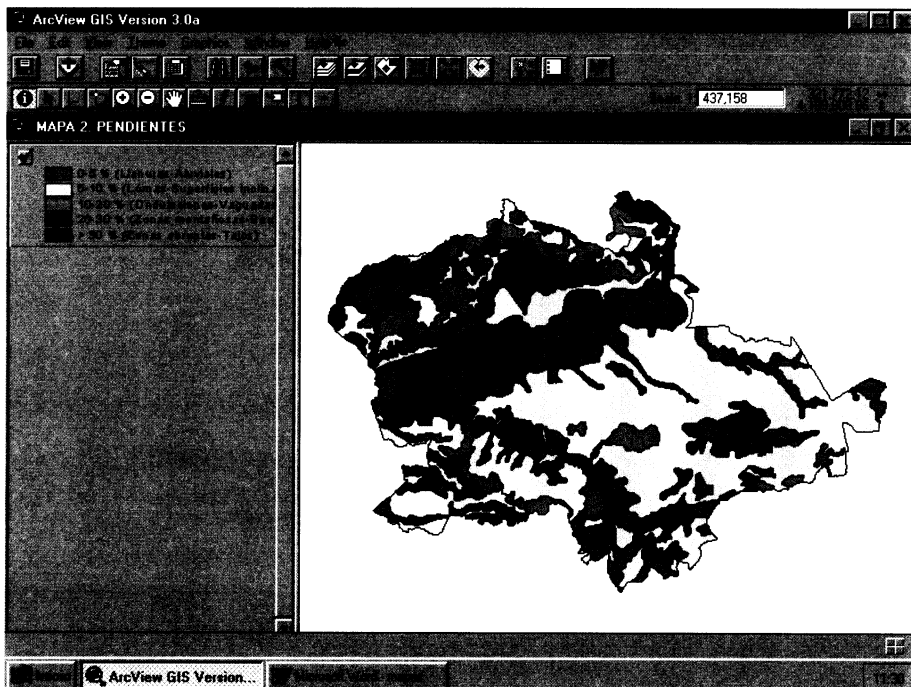


Junto con el mapa de Litología y como mapa de referencia para el análisis de las características geotécnicas del terreno, junto a los de las condiciones constructivas y litología, se ha elaborado un mapa de PENDIENTES a partir de las bases topográficas en escala 1:50.000 en el que se establecen cinco grupos que recogen no sólo el valor de las pendientes en una serie de intervalos establecidos, sino que además se ha tenido en cuenta para su elaboración el carácter geomorfológico existente en cada área. Se tiene entonces una cartografía orientativa de los tipos de relieve existentes.

PENDIENTES

CLASE	PENDIENTES (%)	RELIEVE
I	0-5	Llanuras-Aluviales
II	5-10	Lomas-Superficies inclinadas
III	10-20	Ondulaciones-Vaguadas
IV	20-30	Zonas Montañasas-Barrancos
V	> 30	Zonas abruptas-Tajos

MAPA DE PENDIENTES



Otro análisis interesante ha sido el mapa de CAPACIDAD AGRÍCOLA DEL SUELO. Para su realización se utilizan las normas de clasificación de la capacidad de los suelos de la D.G.P.A. adoptadas de las del Servicio de Conservación de Suelos del USDA, («Land Capability Classification “ S. C. S 1.969). Estas normas se basan en la agrupación de parcelas o unidades de suelo principalmente según su capacidad de producción de cultivos comunes y prateses sin producir deterioro durante un largo periodo de tiempo, en su capacidad productiva.

Las clases agrológicas poseen las características siguientes:

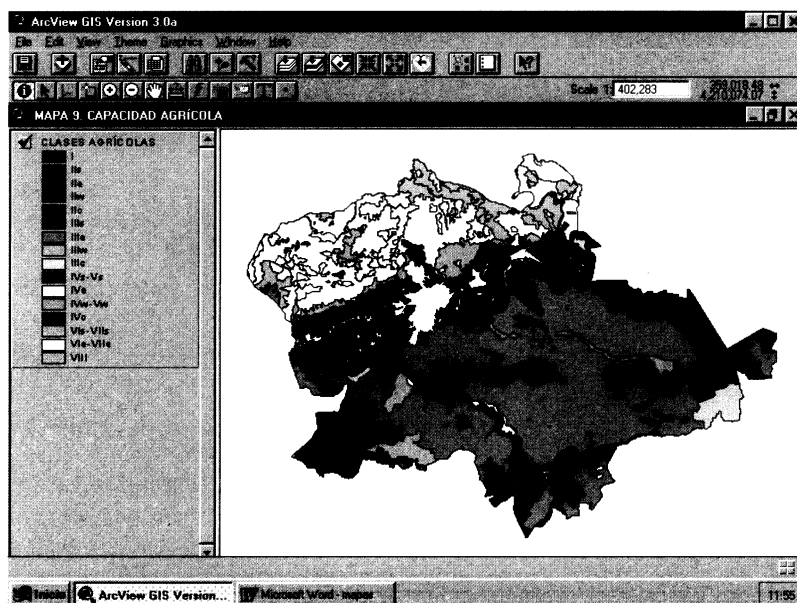
1. Similares potencialidades o capacidades de producción. Aptitud semejante para la implantación y desarrollo de las distintas especies vegetales.
2. Limitaciones de cultivo parecidas. Máxima intensidad que puede alcanzar la explotación del suelo sin poner en peligro todos los componentes productivos.
3. Producen cosechas similares, de la misma clase de cultivos y plantas forrajeras o pastos naturales con prácticas de manejo análogas.

4. Requieren tratamiento de conservación similares y prácticas de cultivo de la misma clase, bajo las mismas condiciones de cubierta vegetal.
5. Tienen un potencial productivo comparable.

Se indican con un número romano (I a VIII) y subíndice literal. El número romano indica la clase agrológica, donde el suelo tiene el mismo grado relativo de capacidad de cultivo o de limitación de uso. El subíndice designa el problema mayor de conservación de la capacidad productiva: **e**: erosión, **w**: encharcamiento, problemas de drenaje, **s**: limitaciones en la zona de raíces, **c**: limitaciones climáticas.

Las clases agrológicas se agrupan según el sistema de explotación o uso del suelo en:

MAPA DE CAPACIDAD AGRÍCOLA DEL SUELO.

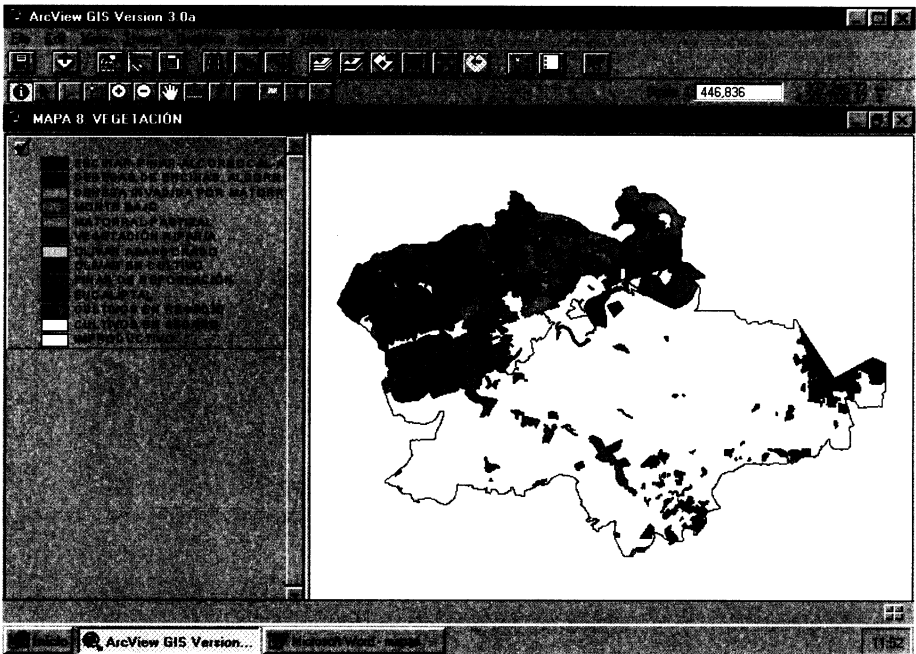


GRUPO	CLASE	SISTEMA DE EXPLOTACION
1.	I, II y III	Laboreo permanentes.
2.	IV	Laboreo ocasional.
3.	V, VI y VII	Pastoreo, producción forestal y/o Reserva Natural.
4.	VIII	Reserva Natural, Zona urbana, etc.

El mapa de VEGETACIÓN se ha elaborado por Fotointerpretación, utilizado para ello fotografía aérea a escala 1:15.000, de un vuelo realizado en 1.996. Identificadas las unidades con ayuda del estereoscopio óptico y tras unos recorridos de campo preliminares, fueron trasladadas sobre un sustrato cartográfico a escala 1:25.000 y posteriormente verificados sus límites y composición en otra fase de trabajo de campo.

Las unidades de vegetación representadas en el mapa adjunto, que si bien no se adaptan a una estricta ortodoxia fitosociológica, pensamos que resultan más comprensibles para el lector no avezado en esta ciencia, al tiempo que reflejan mejor la impronta que de ellas se recibe cuando se observan en el campo.

MAPA DE VEGETACIÓN NATURAL.



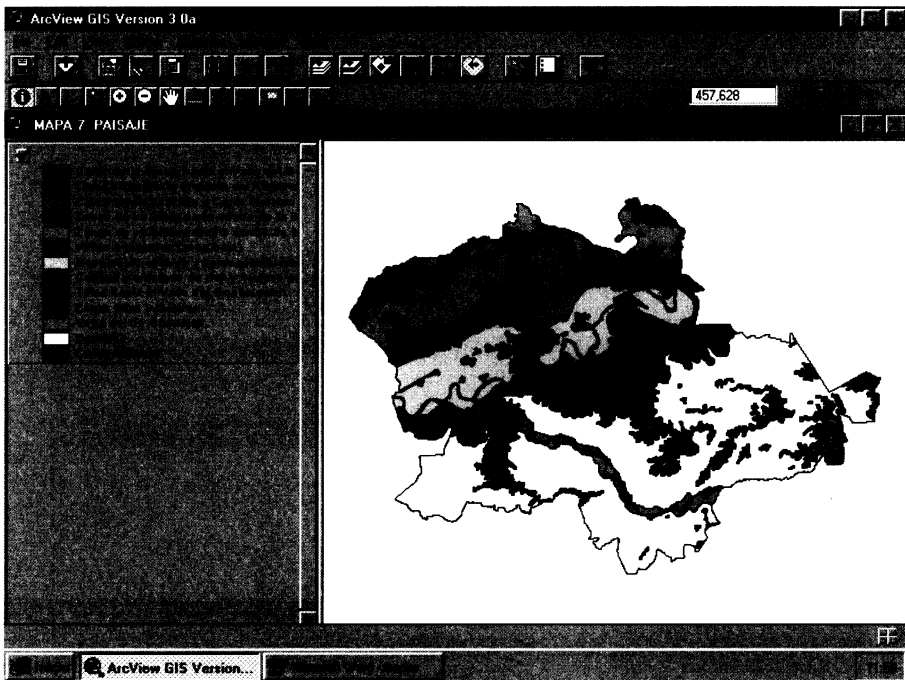
El objetivo del mapa de PAISAJE es la descripción cartográfica realizada por el equipo de trabajo sobre el paisaje en el término municipal de Córdoba. Consideramos que en análisis del paisaje con todas sus limitaciones metodológicas, es una base imprescindible como indicador de características subyacentes del medio, y en trabajos integrados como el presente es un factor importante y con requerimientos propios.

Para realizar una cartografía paisajística válida del término municipal de Córdoba partimos de tres aspectos descriptivos básicos: 1. Calidad intrínseca, 2. Potencial de visualización y 3. Incidencia visual.

En resumen el método de trabajo supone la adición en la cartografía de los tipos de consideraciones: uno, cartografía de unidades de paisaje con peculiaridades propias y dos cartografía de unidades homogéneas de visibilidad que modulan y matizan la consideración de las unidades de paisaje establecidas.

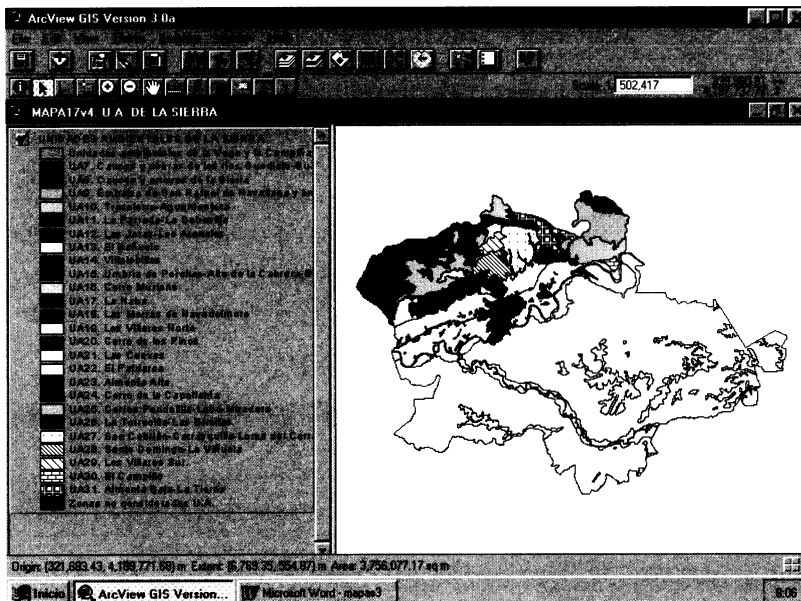
La delimitación de estas zonas y los criterios utilizados no se describen aquí porque desbordan los objetivos de este artículo, aunque, en conjunto hemos intentado describir el término en función de conjuntos de arcos con un «comportamiento» visual semejante y para las que una valoración y recomendaciones de gestión dadas tengan un sentido útil.

MAPA DE PAISAJE.

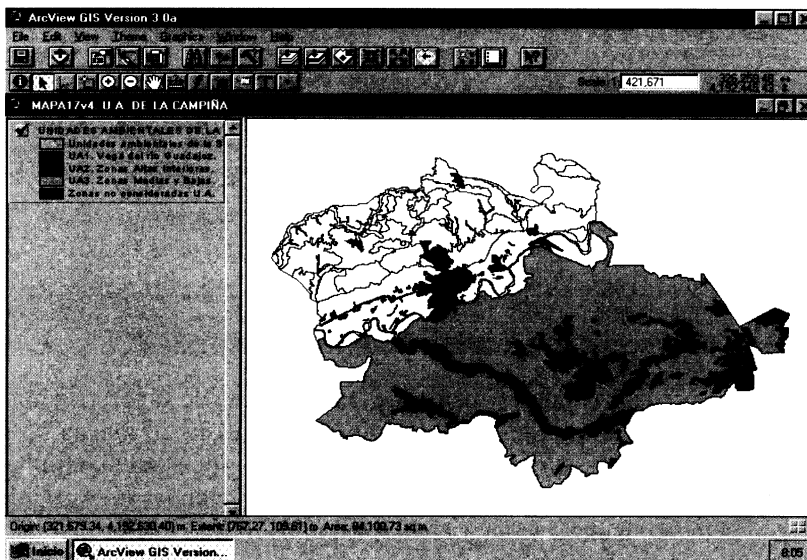


Como comentamos anteriormente, de las funciones de superposición, que son comunes a una amplia gama de técnicas de análisis de mapas de nivel superior, de una forma sistemática. El resultado del proceso de combinación de los mapas temáticos: Litología, Pendientes, Paisaje, Capacidad Agrícola del Suelo y Vegetación natural se ha traducido en unos mapas finales de unidades ambientales como los que siguen.

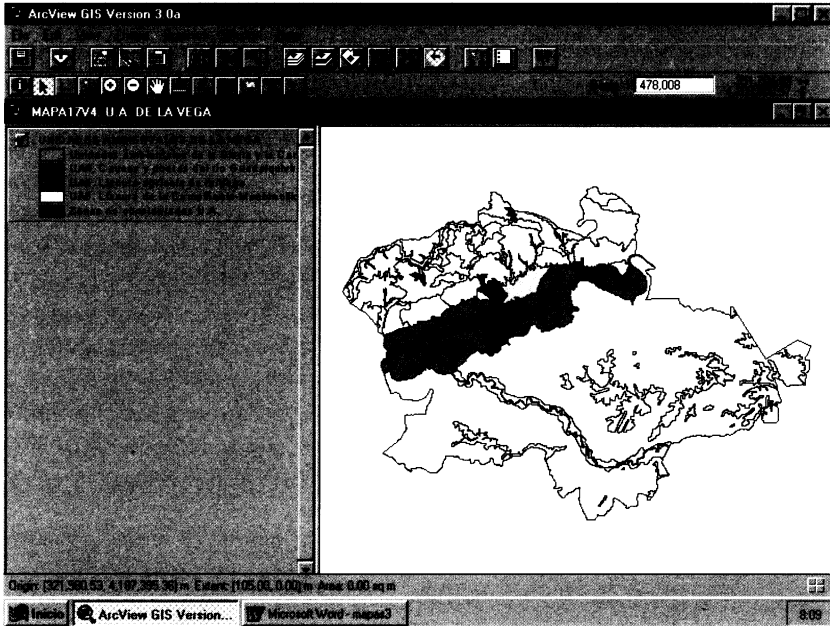
MAPA DE DELIMITACIÓN DE UNIDADES AMBIENTALES EN LA ZONA DE LA SIERRA DE CÓRDOBA.



MAPA DE DELIMITACIÓN DE UNIDADES AMBIENTALES EN LA ZONA DE LA CAMPIÑA DE CÓRDOBA.



MAPA DE DELIMITACIÓN DE UNIDADES AMBIENTALES EN LA ZONA DE LA VEGA DE CÓRDOBA.



BIBLIOGRAFÍA

- BILLINGUE, M.; GREGORY, D., y MARTIN, R. (coords.) (1984): *Recollections of a Revolution. Georgraphy as a spatial Science*, MacMillan Press, London.
- BURROUGH, P.A. (1986): *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Clarendon Press, Oxford.
- CAPEL, HORACIO (1981): *Filosofía y ciencia en la Geografía contemporánea*, Barcanova, Barcelona.
- CEOTMA (1984): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología*. Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente (CEOTMA), Madrid.
- CLARKE, M. (1990): "A Geographical Informatio Systems and model based analysis: towards effective decision support systems", en SCHOLTEN Y STILLWELL (coords.), *Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*, Kluwer Academic Press, Dordrecht (Netherland), 165-175.
- CLAVAL, PAUL (1974): *Evolución de la Geografía Humana*, Oikos-tau, Barcelona.
- COMAS, DAVID Y RUIZ, ERNESTO (1993): *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Ariel, Barcelona.
- CHORLEY,R.J., y HAGGET, P., (coords.) (1964): *Models in Geography*, Methuen, London

- GOODCHILD, M.F.; HAINING, R., WISE, R., et Alii (1992): "Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities", *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 6, núm. 5, 407-423.
- OPENSHAW, S. (1991): "Developing appropriate spatial analysis methods for Geographic Information Systems", en MAGUIRE, RHIND Y GOODCHILD (coords.), *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, Longman, London, 389-402.
- SAMET, HANAN (1990): *Applications of Spatial Data Structures*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading (Massachusetts).