

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACION GEO-REFERENCIADA BASADO EN MICROCOMPUTADORA: ESTUDIO DE CASOS EN ARGENTINA Y MEXICO*

R. NORBERTO FERNANDEZ, DIEGO F. LOZANO-GARCIA
y CHRIS J. JOHANNSEN

ABSTRACT

The present paper discusses the development and utilization of microcomputer based Geo-referenced Information System (GIS) for natural resources management. The first GIS was developed for a study area in the Neuquen Province, Argentina, from cartographic data, at 1:500.000 scale, and multispectral data from Landsat-1 satellite. The second GIS was developed for the State of Morelos, Mexico, from cartographic data at 1:250.000 scale. Some advantages and disadvantages of the system are discussed, as well as future developments.

RESUMEN

En el presente trabajo se evalúa el uso de Sistemas de Información Geo-referenciada (SIG) basados en microcomputadoras, para el manejo de recursos naturales a nivel regional. Los estudios se realizaron en dos áreas piloto. En la primera, ubicada en la Provincia de Neuquén-Argentina, se desarrolló un SIG combinando información cartográfica digitalizada proveniente de mapas a escala 1:500.000, con información del Barredor Multiespectral (MSS) del satélite Landsat-1. En la segunda, Estado de Morelos —México—, se desarrolló un SIG empleando únicamente información cartográfica digitalizada proveniente de mapas a escala 1:250.000. Se analizan algunas de las ventajas y desventajas del sistema empleado como así también futuros desarrollos.

Uno de los elementos de mayor importancia para la toma de decisiones, en cualquier actividad, es la disponibilidad de información, la cual debe ser precisa y en tiempo real. La existencia de información cuantitativa de los recursos naturales renovables y no renovables de un país, o región, es un factor de vital importancia para el manejo adecuado y la conservación de los mismos. Durante los últimos 20 años se ha desarrollado una crecien-

te preocupación, no sólo por la falta de datos, sino también por la organización y el manejo de los ya existentes (Mooneyhan, 1982). Al mismo tiempo, se han producido avances notables en un vasto rango de tecnologías relacionadas con la obtención y manejo de información, tales como: sistemas de observación de la tierra, almacenamiento y análisis de datos, posibilidades para el procesamiento, telecomunicaciones, etc. (Jordan, 1984).

Estos avances tecnológicos permiten obtener, almacenar, manipular y analizar la dinámica, tanto espacial como temporal de los distintos procesos ambientales (Shelton y Estes, 1981).

Dentro de este contexto, la combinación de datos obtenidos a través de sensores remotos con Sistemas de Información Geo-referenciada (SIG) se está convirtiendo en una de las herramientas más efectivas para el manejo de esa información (Mc

Farland, 1982). Esta combinación de métodos permite a los usuarios no solamente procesar y relacionar un gran

* Contribución del Departamento de Agronomía, Purdue Univ. Agric. Exp. Stn., West Lafayette, IN 47907. Journal article Nº 11910. Trabajo presentado en el 3er Simposio Latinoamericano sobre Sensores Remotos organizado por la Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota (SELPER). Diciembre 5-9, 1988, Acapulco, Guerrero, México.

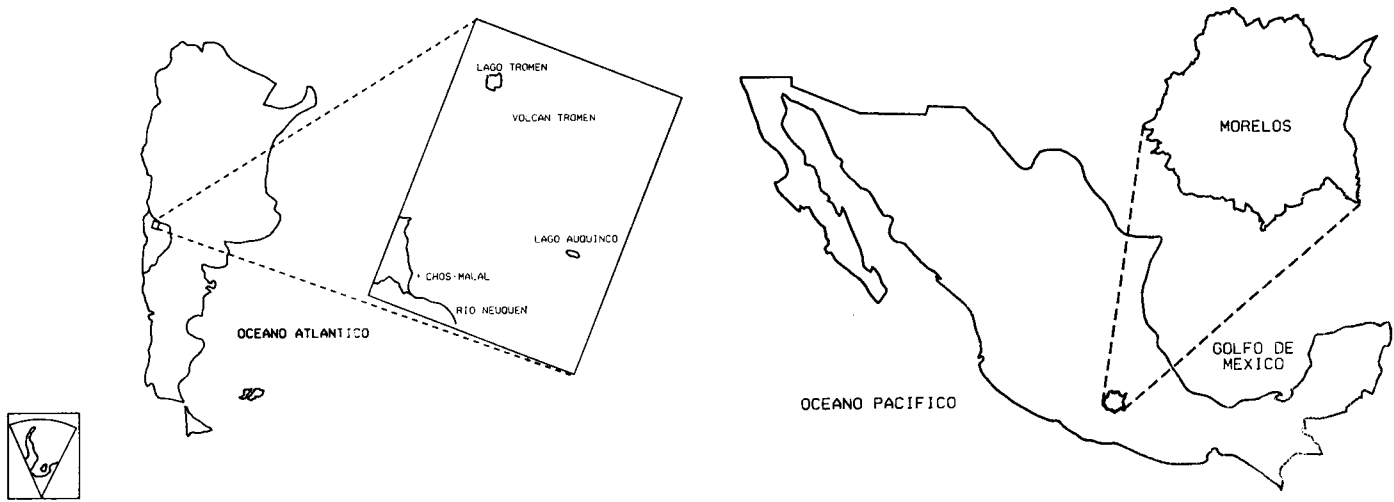


Figura 1. Diagrama de ubicación de las áreas de estudio: izquierda: Chos-Malal, Provincia de Neuquén, Argentina. Derecha: Estado de Morelos, México.

número de variables, sino que proporciona, además, la oportunidad de analizarlas desde una perspectiva multidisciplinaria, ya que es posible diseñar, construir y operar SIG's que contengan datos para distintos recursos naturales (suelos, vegetación, uso del suelo, geología, hidrología, etc.), de distintos orígenes (mapas, fotografías aéreas, imágenes de satélites, datos de censos, información descriptiva) y a diferentes escalas y proyecciones cartográficas. Semejante volumen de información hace imprescindible el uso de computadoras para un adecuado almacenamiento y manejo de los mismos (Bartolucci *et al.*, 1983). Durante los últimos años, el gran avance en la tecnología de las computadoras personales ha servido para impulsar el desarrollo de estos sistemas en equipos de bajo costo (Jordan, 1984).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el uso de sistemas de información georeferenciada instalados en microcomputadoras, para el manejo de recursos naturales a nivel regional, empleando equipos y programas disponibles en el mercado. Los ejemplos se desarrollaron en dos áreas piloto: en la primera, ubicada en la Provincia

de Neuquén - Argentina, se combinó información cartográfica proveniente de mapas a escala 1:500.000 con datos multispectrales. En la segunda, ubicada en el Estado de Morelos - México, se empleó únicamente información cartográfica proveniente de mapas a escala 1:250.000. En ambos casos las bases de datos fueron derivadas de cartografía existente (información digitalizada de diferentes mapas).

Ubicación y Descripción de las Áreas de Estudio

Provincia de Neuquén, Argentina

La Provincia de Neuquén está ubicada en el Suroeste de la República Argentina (Figura 1). El área de estudio, con una extensión aproximada de 2.500 km², se encuentra localizada en el norte de la "Patagonia" y se caracteriza por condiciones de sequía, intensa radiación solar y fuertes vientos del Oeste. La temperatura media anual (registro para la localidad de Chos-Malal) es de 13.6°C. La humedad relativa media anual es 44%, y la precipitación total anual es, aproximadamente, de 240 mm con la mayor concentra-

ción de las mismas entre mayo y agosto. Los veranos son secos. Los vientos de la región prevalecen del sector O-NO y se caracterizan por su intensidad y duración (Prohaska, 1976).

La vegetación predominante de la zona son arbustos y pastos, con pastizales de mayor calidad en lugares donde la capa freática se encuentra cercana a la superficie ("vegas" o "mallines"). Las actividades pecuarias incluyen el cuidado y explotación de ovejas, cabras y ganado vacuno (en menor cantidad). En los valles, particularmente en el del río Neuquén, se practica frutihorticultura y, en menor escala, agricultura (Movia *et al.*, 1981). Geológicamente, esta región se caracteriza por la presencia de areniscas y calizas del período Cretáceo, con basaltos, andesitas y materiales volcánicos del Pleistoceno. Asimismo, se observan arenas, gravas y limos aluviales. La geomorfología del área está definida por la presencia de campos volcánicos, derrames de lavas, terrazas disectadas y planicies aluviales. Las formas de erosión son comunes en el área, especialmente donde el terreno es más escarpado (Ferrer *et al.*, 1982).

Estado de Morelos, México

El Estado de Morelos (4.900 km²) se encuentra localizado en el centro de la República Mexicana (Figura 1) a 50 km al sur de la Ciudad de México. La porción oriental y norte del Estado está dominada por una fisiografía de grandes cadenas de estrato-volcanes (Provincia del eje neovolcánico). La parte occidental del territorio morelense está ocupada por lomeríos surcados por cañadas, llanuras aluviales y mesetas calcáreas (Provincia de la Sierra Madre del Sur). El clima predominante en las zonas bajas es el cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 22°C. El incremento altitudinal determina cambios climáticos a tipos semicálidos y templados. La precipitación se concentra en el período de los meses de mayo a octubre, con valores que fluctúan entre los 800 y 1.000 mm anuales, con una máxima de 190 a 200 mm para el mes de septiembre (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981).

En las zonas montañosas del eje neovolcánico predominan los bosques de encino y madroño, así como bosques de pino y oyamel.

En las tierras bajas domina la selva baja caducifolia. El uso del suelo más predominante es la agricultura de temporal y de riego. Los principales cultivos son el maíz, caña de azúcar, frijol y arroz.

Fuentes de Información

Datos Cartográficos

La Tabla I resume los datos cartográficos empleados para las dos áreas en estudio. Los mapas empleados para el área de Neuquén, Argentina, fueron obtenidos del Consejo Federal de Inversiones, del Gobierno de la Provincia de Neuquén y del Instituto Geográfico Militar. Los mapas utilizados para el Estado de Morelos, México, fueron adquiridos de la "Síntesis Geográfica de Morelos" publicada por la Secretaría de Programación y Presupuesto de México.

Datos Landsat

El mapa de cobertura y uso de la tierra del área en estudio en la Provincia de Neuquén, se obtuvo a partir de datos del Barredor Multiespectral (MSS) del satélite Landsat-1. Las cintas compatibles con computadoras (CCT) fueron obtenidas del banco de datos del Laboratory for Applications of Remote Sensing (LARS/Purdue University). Estos datos fueron obtenidos el 20 de enero de 1976 (época de verano).

Procesamiento de Datos

La digitalización de mapas, el análisis multiespectral y la presentación de resultados se realizó utilizando el sistema ERDAS¹ (Earth Resources Data Analysis System). Este sistema está instalado en una computadora personal IBM-AT, con 1.2 Mbytes de memoria RAM; un controlador de video con

monitor de alta resolución de 512 x 512 x 32 bits; un disco de 72 Mbytes de capacidad de almacenamiento; una tabla digitalizadora y una impresora a color. El equipo cuenta, además, con otros periféricos para el almacenamiento de datos y la impresión de los mismos.

El sistema ERDAS está conformado por diferentes módulos de programas relacionados entre sí por medio de un menú principal. Algunos de los módulos incluidos son los siguientes (ERDAS, 1987):

Módulo de Procesamiento de Imágenes:

Clasificación: Estadísticas de entrenamiento (generación y refinamiento), Análisis de agrupamientos (SEARCH). Máxima verosimilitud, Distancia mínima, Paralelepípedos.

Realce: Razones, Transformaciones lineales (Componentes Principales).

Corrección Geométrica: Puntos de control, Remuestreo. Corrección Radiométrica: Corrección de líneas de barrido.

Módulo de Sistemas de Información Geográfica (SIG):

Editor de datos. Análisis: Matrices lógicas, Reclasificación, Unión, Filtrado, Tablas de confusión.

Módulo de Digitalización:

Creación de vectores: para un mapa, para dos o más mapas, Mosaicos. Conversión de proyecciones cartográficas. Transformación de vectores a celdas.

Digitalización

La primera parte del trabajo consistió en la digitalización de los distintos mapas disponibles mediante la utilización de la tabla digitalizadora. Esta digitalización se realizó en formato de vectores, los cuales fueron luego transformados al formato de celdas (rasteriza-

TABLA I
INFORMACION CARTOGRAFICA UTILIZADA PARA
EL DESARROLLO DE LAS BASES DE DATOS

Ubicación	Mapa	Escala
Neuquén, Argentina	Vegetación	1:500.000
"	Drenaje	1:500.000
"	Geología	1:500.000
"	Geomorfología	1:500.000
"	Elevación	1:500.000
"	Pendientes	1:500.000
"	Topografía	1:500.000
Morelos, México	División Política	1:250.000
"	Comunicaciones	1:250.000
"	Poblaciones	1:250.000
"	Topografía	1:250.000
"	Fisiografía	1:250.000
"	Geología	1:250.000
"	Suelos	1:250.000
"	Hidrología Superficial	1:250.000
"	Hidrología Subsuperficial	1:250.000
"	Climas	1:250.000
"	Vegetación/ Uso del Suelo	1:250.000
"	Precipitación Media	1:500.000
"	Temperatura Media	1:500.000
"	Frecuencia de Heladas	1:500.000
"	Frecuencia de Granizadas	1:500.000

ción). Debido a la escala original de los mapas empleados, se decidió como base para los mapas digitales un tamaño de celda de 100 x 100 metros (Valenzuela, 1985). El formato de celdas es directamente compatible con el formato de las imágenes de satélite y con el procesamiento de las mismas, especialmente cuando este procesamiento se realiza por medio de algoritmos que relacionan los diferentes elementos de resolución (pixels) por medio de la distancia existente entre ellos (Nagy y Wagle, 1978).

Análisis Multiespectral de los Datos Landsat

Previo el análisis, la Banda 4 (0.8-1.1 μ m) fue remuestreada a fin de igualar

el rango dinámico de las 4 bandas a 7 bits. Posteriormente se seleccionó un subconjunto de 1024 líneas x 1024 columnas, sobre el cual se realizó análisis y clasificación multiespectral para uso y cobertura de la Tierra, utilizando un algoritmo de "máxima verosimilitud" (Maximum Likelihood; ERDAS, 1987).

La imagen y los resultados de la clasificación fueron, luego, registrados a la base cartográfica. Para este proceso, se determinaron puntos de control (PDC), los cuales poseen coordenadas conocidas tanto en los mapas como en las imágenes, y están distribuidos sobre toda la imagen utilizada. Los PDC son empleados por un programa que realiza un remuestreo de la imagen utilizando un algoritmo de "vecino

más cercano" (Nearest Neighbor; ERDAS, 1987). Los elementos de resolución fueron remuestreados a un tamaño de 100 x 100 m a fin de igualar el tamaño de celdas de la base de datos.

Desarrollo e Implementación de Modelos

Con el fin de estimar la flexibilidad y potencial del sistema de análisis de datos, se realizaron dos ensayos. En el primero de ellos se combinaron datos del satélite Landsat-1 con mapas digitalizados para producir un modelo que permitiera determinar áreas con potencial de erosión. Este ejemplo se llevó a cabo con los datos sobre Neuquén. En el segundo ensayo se desarrolló un modelo para detectar zonas potencialmente aptas para ser destinadas a formar una reserva ecológica, en el Estado de Morelos. Este modelo fue desarrollado, exclusivamente a partir de datos cartográficos.

Los modelos definidos no pretenden ser totalmente realistas, sino que han sido creados con el objeto de ilustrar el desarrollo, la implementación y la aplicación de los mismos, mediante la combinación de datos de distintos orígenes en un mismo sistema de información, que tome en cuenta la característica espacial de la información empleada.

Modelo para Zonas con Problemas de erosión

El objetivo de este modelo fue el de localizar áreas con distinto potencial de erosión en la zona de Chos-Malal, Provincia de Neuquén, mediante la combinación de datos generados a partir de la clasificación multispectral con datos cartográficos existentes. La Figura 2, diagrama de flujo, muestra los distintos pasos y combinaciones realizadas para este modelo, como así también

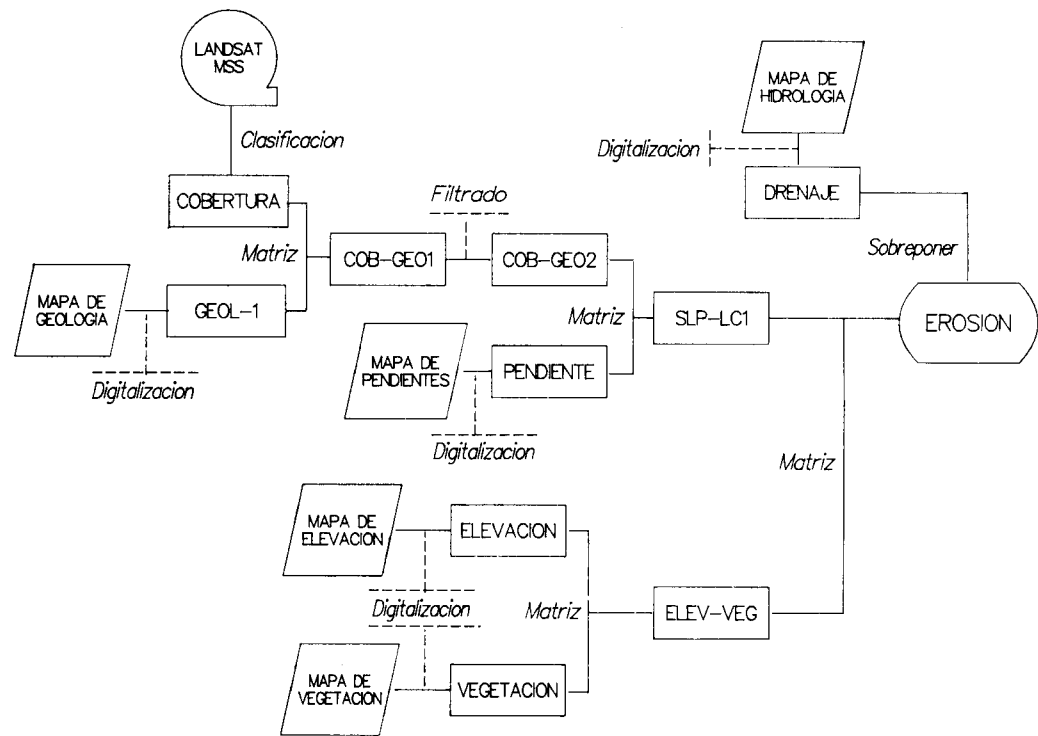


Figura 2. Diagrama de flujo de los modelos desarrollados. Zonas de erosión.

los programas utilizados. Como resultado del proceso de análisis y clasificación de los datos Landsat se obtuvieron 13 clases, las cuales representan distintos tipos de cobertura del terreno. Si bien esta clasificación no tuvo verificación de campo, las respuestas espectrales observadas para cada una de las clases, su ubicación en el relieve e información adicional, permitieron establecer relaciones entre las clases espectrales e informacionales. El mapa de cobertura del terreno (COBERTURA) fue combinado con el mapa digitalizado de Geología (GEOL-1, 15 clases), con el fin de relacionar los distintos tipos de cobertura con los materiales presentes en el área (COB-GEO1). Esta operación se realizó con el programa de *Matrices* (Matrix; ERDAS, 1987) el cual realiza operaciones de álgebra booleana.

Debido a la gran dispersión de algunas de las clases obtenidas en esta combinación, se decidió modificar

este nuevo archivo mediante el filtrado del mismo (Scan; ERDAS, 1987), el cual permite realizar diferentes operaciones con los valores de las distintas clases de los archivos de la base de datos.² En este caso se decidió realizar un filtrado de datos con una ventana rectangular de 5 x 5 elementos. Para el mismo se utilizó el *Análisis de la Moda* (Majority; ERDAS, 1987), en el cual el programa analiza los elementos por grupos y determina cuál es el valor predominante en la ventana, valor éste que es luego asignado al elemento ubicado en el centro de la ventana. Esta operación se repite hasta que todos los elementos del archivo son analizados. Las clases obtenidas (195) fueron evaluadas, eliminándose todas aquellas que representaban, espectralmente, zonas con adecuada cobertura vegetal y materiales más resistentes a la erosión, manteniéndose 38 clases (COB-GEO2).

Este nuevo archivo (COB-GEO2) fue combinado con el mapa digitalizado de pendientes (PENDIENTE, 6 clases) para generar un mapa que muestra la relación entre la geología y el tipo de cobertura con pendientes de 0-2%, 2-8%, 8-16%, 16-30%, 30-70% y más del 70% (SLP-LC1). Paralelamente, y siguiendo el mismo concepto de análisis, se combinaron los mapas digitalizados de vegetación y elevación del terreno para producir un mapa de distribución altitudinal de la vegetación (ELEV-VEG). Esta información fue posteriormente utilizada para la descripción de las clases con potencial de erosión, las cuales se obtuvieron mediante la combinación de los archivos SLP-LC1 y ELEV-VEG (Figura 2). El total de clases obtenidas fue agrupado en 8 clases indicativas de distintas condiciones potenciales de erosión. A este mapa se le agregó información de hidrología superficial mediante



Valor Clase	Nº de puntos	%	Nº de Hec
1 Muy Alta	4904.	6.50	490
2 Alta	7363.	9.75	736
3 Moderada	19422.	25.73	1942
4 Baja	30066.	39.83	3006
5 Muy Baja	537.	0.71	53
6 Suelos Descubiertos/Varios	4731.	6.27	473
7 Suelos Descubiertos/Basaltos	3211.	4.25	321
8 Suelos Descubiertos/Gypsum	4095.	5.42	409
9 Rios y Lagos	1146.	1.52	114
10 Urbano	16.	0.02	1
Totales:	75491.		7549

Figura 3. Clases de erosión obtenidas para la zona de Chos-Malal, Provincia de Neuquén, Argentina.

el programa *Sobreposición* (Overlay; ERDAS, 1987). La Tabla II muestra el producto, en formato tabular, generado por el sistema con la descripción para cada una de las clases, las cuales representan diferentes combinaciones de materiales geológicos, cobertura del terreno, pendiente, tipo de vegetación y elevación. La Figura 3 reproduce el mapa de clases de riesgo de erosión que se obtuvo para el área en estudio.

Modelo para el Parque Ecológico

El objetivo de esta parte del trabajo fue el de localizar áreas con potencial para el establecimiento de un parque ecológico en el Estado de Morelos. Las condiciones preestablecidas para estas áreas incluyeron su potencial limitado para el uso agropecuario y un adecuado estado de conservación de los recursos naturales.

La Figura 4 muestra los pasos llevados a cabo en el análisis, indicando los mapas utilizados, así como el tipo de operación realizada. El primer criterio empleado fue el de localizar únicamente las áreas con relieve montañoso utilizando el mapa digitalizado de fisografía. Esta información se combinó con el mapa digitalizado de precipitación media anual, por medio del programa de *Matrices* (Matrix; ERDAS, 1987), para generar un mapa que muestre zonas con condiciones climáticas y geomorfológicas poco adecuadas para el desarrollo agropecuario. Como resultado de este proceso se obtuvo un mapa con 16 clases diferentes (CANDIDATA1).

Posteriormente se seleccionaron las clases cuyos tipos de vegetación se encontraran en adecuado estado de conservación, para lo cual se empleó el mapa de vegetación y uso actual del suelo. De las 39 clases presentes en este mapa se seleccionaron 9,

TABLA II
CLASES DE RIESGO DE EROSION OBTENIDAS PARA LA ZONA DE CHOS-MALAL, PROVINCIA DE NEUQUEN, ARGENTINA

Clase	Descripción	Hectáreas
1	Muy Alta	4.904
2	Alta	7.363
3	Moderada	19.422
4	Baja	30.066
5	Muy Baja	537
6	Suelos Descubiertos/Varios	4.731
7	Suelos Descubiertos/Basaltos	3.211
8	Suelos Descubiertos/Gypsum	4.095
9	Ríos y Lagos	1.146
10	Urbano	16

las cuales fueron combinadas con las 16 clases generadas en el paso anterior, empleando también el programa de *Matrices*, para producir un mapa con 27 clases (CANDIDATA2).

Los mapas digitalizados de comunicaciones y poblaciones se unieron para obtener el mapa de infraestructura urbana (URBANO1) presente

en el Estado. Con el objeto de contar con una estimación del área de influencia de las mismas se realizó un *Análisis de proximidad* (Distance: ERDAS, 1987) para las clases presentes en el mapa URBANO1 (URBANO2). Este método clasifica cada una de las celdas en el mapa con base en un criterio de distancia a la o las clases de interés. La

distancia utilizada para este análisis fue de 1000 m dividida en 10 niveles.

El paso final fue la combinación de los mapas CANDIDATA2 y URBANO2 para obtener las áreas que pudieran destinarse al establecimiento del parque ecológico. Esta combinación se realizó con el programa *Sobreponer* (Overlay; ERDAS, 1987). La Figura 5 muestra la distribución de las diferentes áreas candidatas junto con las áreas de influencia de la infraestructura urbana. La Tabla III muestra las áreas combinadas por tipo de vegetación, geomorfología y precipitación anual obtenidas en este ensayo.

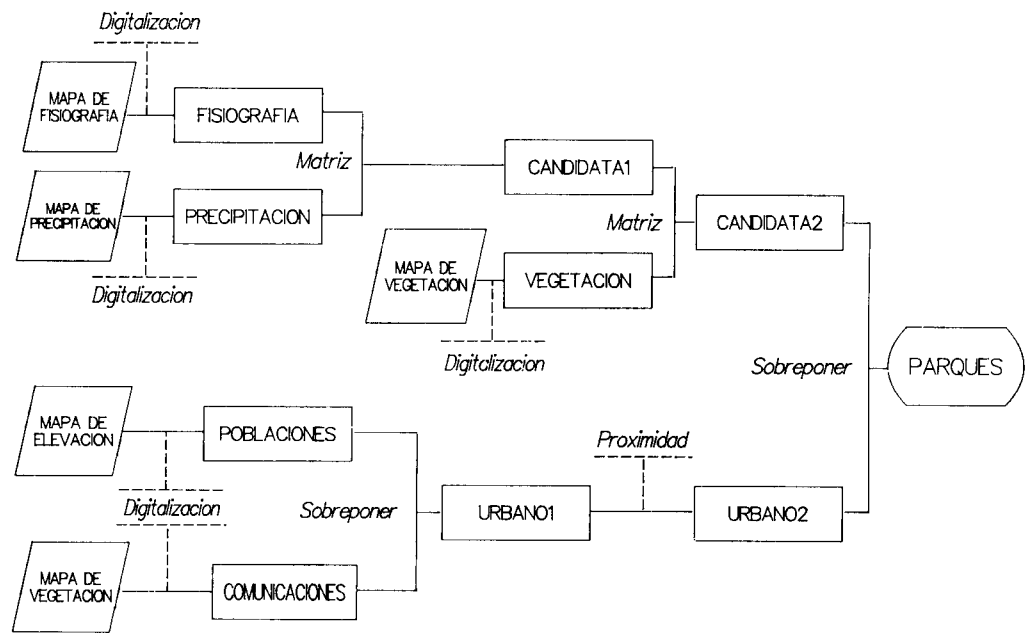


Figura 4. Diagrama de flujo para los modelos desarrollados. Áreas con potencial para parques ecológicos.

Discusión y Conclusiones

Las áreas de estudio utilizadas en el presente trabajo poseen la diversidad ambiental necesaria como para proporcionar ejemplos adecuados para el desarrollo de sistemas de información georeferenciada. Los modelos definidos no pretenden ser totalmente realistas, sino ilustrativos. Las bases de datos desarrolladas demuestran la factibilidad del uso de microcomputadoras para el almacenamiento, manejo y análisis de datos, ya sean éstos provenientes de mapas o derivados de información de sensores remotos.

La combinación de datos provenientes de distintas fuentes ha permitido no solamente generar nuevos mapas, sino también analizar esos datos en combinación con los ya disponibles, de manera rápida y eficiente. Si bien los datos provenientes de sensores remotos pueden ser utilizados para actualizar bases de mapas desarrolladas a partir de mapas (especialmente para aquellas variables ambientales de cambio rápido), se deben tener presente las discrepancias existentes entre uno y otro debido al origen de los mismos (Walsh, 1985). Estas diferencias se manifiestan, espe-

TABLA III
ÁREAS CANDIDATAS FINALES ORDENADAS POR TIPOS DE VEGETACION, FISIOGRAFIA Y PRECIPITACION PARA EL ESTADO DE MORELOS, MEXICO

Clase	Descripción	Hectáreas
1	Mesófilo, Estrato Volcanes, 1200-1500 mm	1.858
2	Oyamel, Estrato Volcanes, 1200-1500 mm	548
3	Oyamel, Ladera Abrupta, 1200-1500 mm	1.284
4	Pino, Estrato Volcanes, 1000-1200 mm	78
5	Pino, Estrato Volcanes, 1200-1500 mm	3.456
6	Pino, Estrato Volcanes, 1500-2000 mm	1.023
7	Pino-Oyamel, Estrato Volcanes, 1200-1500 mm	243
8	Pino-Oyamel, Estrato Volcanes, 1500-2000 mm	551
9	Pino-Encino, Estrato Volcanes, 1000-1200 mm	35
10	Pino-Encino, Estrato Volcanes, 1200-1500 mm	1.174
11	Pino-Encino, Estrato Volcanes, 1500-2000 mm	129
12	Encino, Estrato Volcanes, 1000-1200 mm	31
13	Encino, Estrato Volcanes, 1200-1500 mm	199
14	Encino-Pino, Ladera Abrupta, 1000-1200 mm	532
15	Encino-Pino, Cumbre Tendida, 1000-1200 mm	643
16	Encino-Pino, Ladera Escarpada, 1000-1200 mm	4
17	Encino-Pino, Estrato Volcanes, 1200-1500 mm	858
18	Encino-Pino, Ladera Abrupta, 1200-1500 mm	536
19	Encino-Pino, Estrato Volcanes, 1500-2000 mm	56
20	Selva Baja, Sierra Baja, 800-1000 mm	1.211
21	Selva Baja, Ladera Escarpada, 800-1000 mm	6.678
22	Selva Baja, Cumbre Tendida, 800-1000 mm	191
23	Selva Baja, Ladera Escarpada, 800-1000 mm	7.561
24	Selva Baja, Estrato Volcanes, 1000-1200 mm	507
25	Selva Baja, Cumbre Tendida, 1000-1200 mm	123
26	Selva Baja, Estrato Volcanes, 1200-1500 mm	1
27	Pradera, Estrato Volcanes, 1200-1500 mm	319

cialmente, en la mayor información que proporcionan los datos Landsat, a la escala de trabajo. Los datos generados a partir de las imágenes Landsat son directamente compatibles con las bases de datos desarrolladas.

El sistema utilizado es eficiente en el procesamiento de datos, particularmente para los de sensores remotos. El sistema es de fácil manejo, característica ésta lograda a través del ordenamiento de los programas en series de "menús" relacionados entre sí.

Entre las desventajas encontradas se incluyen: i) Limitado espacio para el almacenamiento de datos. Este problema es común a todas las computadoras personales y puede ser parcialmente solucionado con discos duros de alta capacidad; o, en el futuro cercano, mediante el empleo de discos ópticos; ii) Falta de relación entre los datos geo-referenciados (archivo de vectores) y la descripción de los mismos (archivo de atributos). El sistema ERDAS no permite la relación entre estos dos archivos. Esta limitación del sistema debe ser considerada cuando la relación polígonos/atributos de la base de datos a desarrollarse ponga mayor énfasis en los atributos. En este caso se debe considerar el uso de otro sistema, o el desarrollo de programas que permitan vincular ambos tipos de archivos. iii) Las bases de datos (atributos) que se pueden desarrollar con el sistema ERDAS están limitadas por el tamaño de registro del nombre de las clases (32 caracteres por clase). En términos prácticos, esto se traduce en la necesidad de codificar los nombres de las clases de los datos cartográficos que se utilizan en el análisis. iv) Cada vez que un nuevo mapa es obtenido a través de la combinación de existentes, las nuevas unidades deben ser redefinidas, por cuanto la identidad original de las mismas se pierde durante el pro-

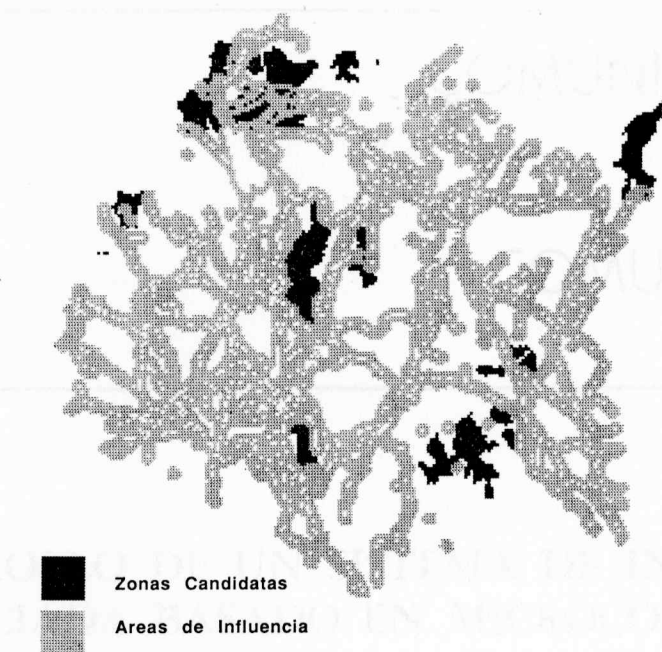


Figura 5. Zonas seleccionadas con potencial para Parques Ecológicos y áreas de influencia de la infraestructura urbana en el Estado de Morelos, México.

ceso de generación. Este problema es derivado de la limitación ya explicada en iii), y podría ser solucionado con una modificación del formato de los archivos.

En general, desde el punto de vista científico, esta nueva tecnología permite desarrollar modelos para el estudio de diferentes variables y de la interacción de las mismas. Desde el punto de vista institucional, los sig's basados en microcomputadoras permiten el almacenamiento y análisis de gran cantidad de datos en forma rápida y eficiente. Esta característica los convierte en necesarios para el planeamiento del manejo de recursos naturales. Si bien este tipo de sistemas posee limitaciones técnicas, los mismos requieren una inversión mucho menor, comparada con la de sistemas centralizados, aspecto éste de indudable importancia para instituciones de limitados recursos económicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. José Ferrer, del Consejo Federal

de Inversiones y al Gobierno de la Provincia de Neuquén, República Argentina, por haber facilitado parte de la información utilizada en el presente trabajo. Este agradecimiento se hace extensivo a la Ing. Agr. Clara P. Movia, del Laboratorio de Fotointerpretación de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina.

NOTAS

1. ERDAS Inc. 430 Tenth Street, N.W., Suite N-206. Atlanta, Georgia 30318. USA.
2. Cálculo de la Media, Moda Mediana, Máximo, Mínimo, Minoría, Diversidad, Densidad y Límites de los valores presentes en la ventana.

El uso de marcas comerciales no constituye respaldo a las mismas por parte de los autores o por Purdue University.

REFERENCIAS

Bartolucci, L. A., T. L. Phillips y C. R. Valenzuela (1983): Bolivian Digital Geographic Information System. *Proc. 9th. Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium*. LARS/Purdue University, West Lafayette, IN. June 21-23.

ERDAS (Earth Resources Data Analysis System) (1987): User's Manual.

Ferrer, J., A. Hurtado y J. Irizarri (1982): *Los Suelos de la Provincia de Neuquén*. Gobierno de la Provincia de Neuquén. Trabajo inédito.

Jordan, L. E. (1984): Geographic Information Systems (GIS) and Examples of Use. *Proc. International Symposium on Geographic Information Systems for Conservation and Development Planning*. Cornell University, Ithaca, NY. April 4-6.

McFarland, W. D. (1982): Geographical Databases for Natural Resources. Part I pp. 41-50. En: *Remote Sensing for Resource Management*. Johannsen, C. J. & J. L. Sanders (Ed.). Soil Conservation Society of America, Ankey, Iowa. 665 pp.

Mooneyhan, D. W. (1982): Organizing Information for Effective Resource Management. Part I. pp. 30-40. En: *Remote Sensing for Resource Management*. Johannsen, C. J. & J. L. Sanders (Ed.). Soil Conservation Society of America, Ankey, Iowa. 665 pp.

Movia, C. P., G. Ower y R. Pérez (1981): *La Vegetación de la Provincia de Neuquén*. Gobierno de la Provincia de Neuquén. Trabajo inédito.

Nagy, G. y S. Wagle (1978): *Geographic Data Processing, Computing Surveys*. Vol. 11. Nº 2. June.

Prohaska, F. (1976): The Climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. En: *World Survey of Climatology, Volume 12. Climates of Central and South America*. Ch 2. pp. 13-72. Elsevier Sc. Pub. Co.

Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática (1981): *Síntesis Geográfica de Morelos*. México D. F. 110 pp. y Anexo Cartográfico.

Shelton, R. L. y J. E. Estes (1981): Remote Sensing and Geographic Information Systems: An Unrealized Potential. *Geo-Processing*. 1: 395-420.

Valenzuela, C. R. (1985): *The Element Soil as a Basic Component in a Digital Geographic Information System*. Ph.D. Dissertation. Department of Agronomy. Purdue University. West Lafayette, Indiana 47907, USA. May.

Walsh, S. J. (1985): Geographic Information Systems for Natural Resource Management. *Journal of Soil and Water Conservation*. 40(2): 202-205.