

**TERRA**  
*Latinoamericana*

Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,  
A.C.  
México

Pedraza-Oropeza, Felipe J.A.; Mejía-Saenz, Enrique; Cuevas-Renaud, Baltasar; Exebio-García,  
Adolfo; Oropeza-Mota, José Luis

Desarrollo de un sistema generador de modelos altimétricos para la República Mexicana

Terra Latinoamericana, vol. 23, núm. 2, abril-junio, 2005, pp. 191-199

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57323206>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# DESARROLLO DE UN SISTEMA GENERADOR DE MODELOS ALTIMÉTRICOS PARA LA REPÚBLICA MEXICANA

## Development of a Generating System of Altimetric Models for the Mexican Republic

Felipe J.A. Pedraza-Oropeza<sup>1</sup>, Enrique Mejía-Saenz<sup>1‡</sup>, Baltasar Cuevas-Renaud<sup>1</sup>,  
Adolfo Exebio-García<sup>1</sup> y José Luis Oropeza-Mota<sup>2</sup>

### RESUMEN

La finalidad del presente trabajo es desarrollar un sistema de cómputo que permita generar modelos digitales de terreno, a partir de la información producida por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), específicamente mediante sus Geomodelos de Altimetría del Territorio Nacional (GEMA), a escala 1:250 000, los cuales son una valiosa fuente de información para cualquier trabajo relacionado con la percepción remota y los sistemas de información geográfica. La prioridad número uno de este trabajo fue la generación de un programa de cómputo que facilite la explotación de la base de datos, sin necesidad de conocer la estructura interna de la misma. El sistema generado ha mostrado un excelente desempeño en el manejo de la malla virtual de más de 875 millones de elevaciones de la base de datos, por lo que ya se está considerando incluir otras bases de datos similares, como los Modelos Digitales de Elevación, a escala 1:50 000, de INEGI y las bases de datos topográficas, con cobertura mundial, disponibles a la fecha.

**Palabras clave:** *modelos digitales de terreno, bases de datos topográficas, sistema de información geográfica.*

### SUMMARY

The purpose of this work was to develop a computational system that permits the generation of digital terrain models, or altimetric models, using information produced by the Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), specifically the altimetric models at a scale of

1:250 000 (GEMA), which are a valuable source of information for any work related to remote sensing and geographical information systems. The main priority of this work was the generation of a software program that facilitates the use of the data base, without having to know its internal structure. The generated system has shown excellent performance in the management of more than 875 millions virtual elevations of this data base. For this reason, it is considered to include other similar data bases, such as the digital elevation models at a scale of 1:50 000 of INEGI, and topographic data bases with a worldwide cover, available up to date.

**Index words:** *digital terrain models, topographic databases, geographical information systems.*

### INTRODUCCIÓN

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) se define como un manejador de bases de datos especializado, capaz de manejar datos geográficos, los cuales pueden ser representados gráficamente.

Estos sistemas son una herramienta imprescindible para el estudio y para la cuantificación de los recursos naturales, en general, y para la caracterización del medio físico, en particular, por lo que han llegado a ser tan necesarios como los procesadores de texto y las hojas electrónicas.

Un Modelo Digital de Terreno (MDT) es una estructura numérica de valores  $x$ ,  $y$ , y  $z$  que representa una porción de la superficie terrestre, lo que lo convierte en un caso particular de los Modelos Digitales de Elevación (MDE), los cuales pueden representar la distribución espacial de cualquier variable cuantitativa y continua.

El MDT es un elemento fundamental de los SIG, ya que complementa la información en dos dimensiones, como las imágenes de satélite y las fotografías aéreas, y permite, de esta manera, una representación y análisis de la información geográfica en tres dimensiones.

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, estado de México.

<sup>‡</sup> Autor responsable ([mejiasae@colpos.mx](mailto:mejiasae@colpos.mx))

Existen dos tipos de MDT. El más simple y, por lo tanto, más fácil de procesar, es la malla regular, en la que las elevaciones se encuentran en los vértices de una matriz de renglones y columnas equidistantes, aunque no necesariamente la separación entre renglones tiene que ser igual a la separación entre columnas, esto es lo más común. El otro tipo de MDT es la malla irregular, en la cual las elevaciones se encuentran en los vértices de una red irregular de triángulos (Triangulated Irregular Network o TIN). Este tipo de malla tiene la ventaja de permitir disminuir la densidad de puntos en las zonas planas, haciendo un uso más eficiente de la memoria, pero su procesamiento es más complejo, por lo que los SIG's, por lo general, no trabajan con este tipo de MDT's, o bien, sólo permiten un número reducido de operaciones con ellos.

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) produce dos tipos de datos altimétricos para la República Mexicana: los Modelos Digitales de Terreno, escala 1:50 000, y los Geomodelos de Altimetría del Territorio Nacional, a escala 1:250 000 (GEMA). Los primeros son mallas regulares a cada 50 m en proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) y se venden en archivos que cubren 15' de latitud por 20' de longitud, por lo que se requiere de 2400 modelos para abarcar a todo el país, y de los cuales sólo existe 50%. Estos modelos constan de un archivo de elevaciones y otro de documentación, por lo que es muy fácil importarlos a cualquier SIG. Los segundos son mallas regulares a cada 3 s de arco, aproximadamente 90 m, y se encuentran en 255 archivos (Figura 1) que cubren completamente la zona continental y las islas más importantes de México. En estos archivos, las elevaciones se encuentran compactadas y, por lo tanto, no es posible importarlas de manera directa a ningún SIG, ya que se requiere de un proceso previo de conversión, que es una de las funciones del sistema a desarrollar.

Joly (1988) mencionó que un modelo es una representación simplificada de la realidad, en la que aparecen algunas de sus propiedades.

Ríos (1995) señaló que un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar, de forma simple y comprensible, una porción de la realidad empírica.

Palacios (1998) desarrolló un programa que permite la extracción de información de GEMA al cual denominó ExtraeGEMA, el cual, además, convierte las coordenadas geográficas originales

(latitud y longitud) a metros en proyección UTM, ya sea con el Datum Norteamericano de 1927 (NAD27), el cual se basa en el elipsoide Clark de 1866 y es el más utilizado por la cartografía de INEGI, o con el Datum WGS84 que está ganando terreno por ser más preciso que el NAD27.

Pedraza (1999) desarrolló un procedimiento para generar capas vectoriales de puntos en ArcView, utilizando ExtraeGEMA. El mayor problema de este procedimiento es que se basa en el programa Idrisi para realizar algunas conversiones, y la versión con que se contaba en esa fecha sólo permitía generar capas de máximo 30 000 puntos, lo cual es insuficiente.

Sin embargo, el manejo de la información de INEGI para obtener Modelos de Elevación Digital, en los trabajos antes descritos, presenta una serie de inconvenientes, como: el tiempo considerable de procesamiento, el requerir conocer la estructura interna de los datos, el funcionar en ambiente operativo obsoleto, así como el reducido tamaño de los archivos que pueden ser manejados.

Por todo lo anterior, se consideró importante realizar el presente trabajo cuyo objetivo es desarrollar un sistema de cómputo con una interfase amigable que facilite la generación de modelos digitales de elevación, también llamados modelos altimétricos, de cualquier parte de la República Mexicana, con la hipótesis de que los algoritmos propuestos permitirán un procesamiento ágil y eficiente de la información disponible en INEGI, así como su utilización por usuarios que no son expertos en la materia mediante una interfase amigable en ambiente Windows. Así, se considera que esta herramienta puede generalizar la utilización de este tipo de modelos en los sectores económicos y educativos de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del sistema, se utilizaron los siguientes programas y datos:

1. Archivos de GEMA.
2. Lenguaje de programación Delphi, Versión 5.0.
3. Programa Microsoft Office.
4. Módulo básico de ArcView 3.0.
5. Programa Idrisi para Windows, Versión 2.0 (16 bits).
6. Programa Idrisi32 para Windows (32 bits).
7. Programa Surfer, Versión 6.0 ó superior.

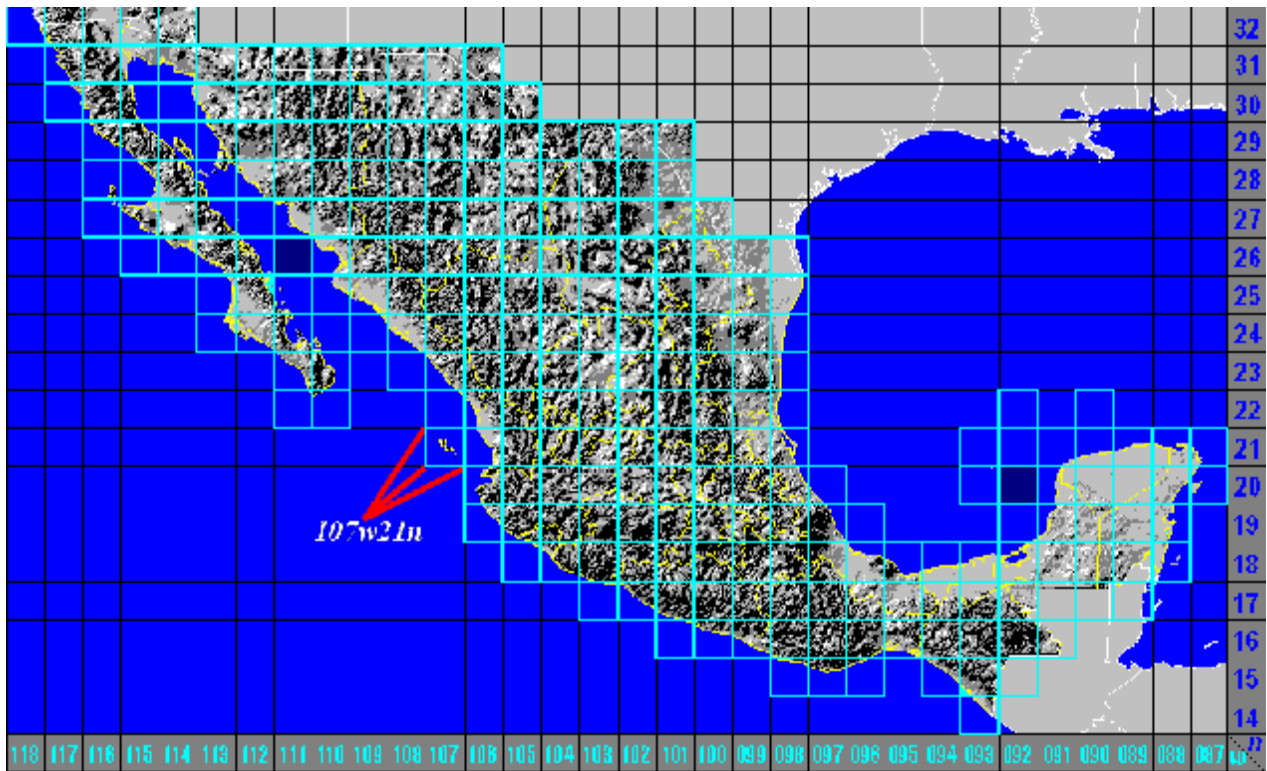


Figura 1. Localización de 255 archivos de GEMA.

8. Programa para proteger software mediante llave física

y el siguiente equipo de cómputo:

1. Computadora personal con procesador Pentium.
2. Impresora.
3. Llave física.

El sistema debe generar los modelos altimétricos directamente en los formatos utilizados por los sistemas de información geográfica más utilizados, por lo que se incluyeron los formatos:

1. Formato BMP. Formato bitmap de Windows: son archivos en blanco y negro, en los cuales las elevaciones menores que 1 m aparecen en color blanco y las demás en color negro, lo cual es muy útil para vectorizar, de manera automática, los contornos de las costas e islas.
2. Formato CSV. El formato CSV (Valores separados por comas) en una matriz de tres columnas (latitud, longitud y altitud) y tantos renglones como tenga el modelo. Este formato puede leerse directamente en una gran cantidad de aplicaciones e incluso hojas electrónicas, lo cual le da gran versatilidad, ya que puede funcionar como un formato de procesamiento o

simplemente de impresión de los datos (Murray y VanRyper, 1994).

3. Formato GRID. Este formato es utilizado por el programa Surfer, el cual en un principio estaba enfocado a la topografía, pero en sus versiones más recientes se incluyen muchas funciones para el manejo de información geográfica, aunque hasta el momento carece de una base de datos por lo que no se le puede considerar un Sistema de Información Geográfica completo. Este formato consta de un solo archivo con terminación grd (Golden Software, 1997).

4. Formato IMG. Este formato es utilizado por el programa Idrisi para Windows en su versión de 16 bits y consta de dos elementos: un archivo tipo img, el cual contiene las elevaciones y un archivo tipo doc, en el que se encuentran las propiedades de la imagen, como: el tipo de datos, el tipo de archivo, el número de renglones y columnas, el sistema de referencia y las unidades utilizadas (Clark Labs, 1997).

5. Formato RASTER. Este formato es utilizado por el programa Idrisi para Windows en su versión de 32 bits y consta de dos elementos: un archivo tipo rst,

el cual contiene las elevaciones; y un archivo tipo *rdc* (raster documentation) en el que se encuentran las propiedades de la imagen, como: el tipo de datos, el tipo de archivo, el número de renglones y columnas, el sistema de referencia y las unidades utilizadas (Clark Labs, 1997).

6. Formato SHAPE. Este formato es utilizado por el programa ArcView y consta de tres partes: un archivo de tipo *shp*, que contiene la información básica de los puntos, como su descripción y sus coordenadas X y Y; un archivo tipo *shx*, que contiene un índice que agiliza la búsqueda de cualquier punto; y, finalmente, una base de datos en formato *dbf*, en la cual se almacenan los atributos relacionados con cada punto y que, en este caso, son un identificador secuencial, ID, y su elevación, Alt (ESRI, 1993, 1996, 1998). Para lograr lo anterior se desarrollaron las siguientes actividades:

1. Descifrar el formato en que se presentan los archivos originales de INEGI, ya que, como se mencionó anteriormente, los datos se encuentran compactados y su estructura exacta no viene documentada en el producto.

2. Implementar una biblioteca para la generación de archivos vectoriales de puntos de ArcView que es uno de los formatos de salida del sistema; para lo anterior, se utilizó la descripción técnica de los archivos Shape, publicada por el Environmental Systems Research Institute (ESRI) en julio de 1998.

3. Descifrar el formato en que se encuentran los archivos de Idrisi, que se utilizan para realizar el análisis de las elevaciones.

4. Descifrar el formato en que se encuentran los archivos de mallas de elevaciones del programa Surfer, el cual, aunque propiamente no es un Sistema de Información Geográfica, realiza muchas operaciones básicas con mapas y es muy rápido y fácil de manejar, por lo que su uso se ha extendido rápidamente.

5. Diseñar una interfase intuitiva y amigable que permita a un usuario con conocimientos mínimos de computación seleccionar interactivamente el área de su interés y generar un modelo altimétrico directamente en el formato requerido, evitándole así la necesidad de realizar conversiones intermedias que demanden tiempo y recursos de sistema.

6. Documentar adecuadamente el sistema.

## Datos Suministrados por el Usuario

Para que el sistema pueda generar un modelo altimétrico, el usuario debe suministrar los siguientes elementos:

1. Límites del modelo. Estos límites se definen en función de cuatro valores: longitud mínima, longitud máxima, latitud mínima y latitud máxima.

2. Archivo de salida. La descripción del archivo de salida debe contener forzosamente un nombre y un tipo válido y, de manera opcional, una unidad y una trayectoria (*path*).

3. Separación entre renglones y columnas. Esta separación se da en unidades básicas de 3 s de arco, que es la distancia en los archivos de datos. Si la separación es igual a la unidad, el modelo generado tendrá la misma resolución que los archivos de GEMA, o sea 3 s de arco; si su valor es 2, la separación será de 6 s de arco; y así sucesivamente. La función de este parámetro es disminuir la densidad de puntos de un modelo a fin de que ocupe menos espacio de almacenamiento y menos tiempo de procesamiento, lo cual es deseable, sobre todo en los procesos preliminares de un proyecto.

## Proceso de Generación del Modelo

El proceso de generar un modelo altimétrico consta de dos partes:

1. Validación de la información proporcionada por el usuario (Figura 2).

2. Procesamiento de los archivos requeridos (Figura 3).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características Generales del Sistema

Con el fin de facilitar al máximo la operación del Sistema, no es necesario que el usuario realice ningún proceso de instalación, ya que, al introducir el disco compacto y cerrar la unidad de CD-ROM, éste se ejecuta de manera automática. Por otra parte, el sistema cuenta con los siguientes tipos de ayuda:

1. Tips. Son mensajes breves que se visualizan al poner el apuntador del ratón sobre un elemento gráfico del sistema (botón, campo de texto, etc.)

2. Ayuda contextual. Al oprimir la tecla F1 se despliega una descripción amplia del elemento gráfico activo.

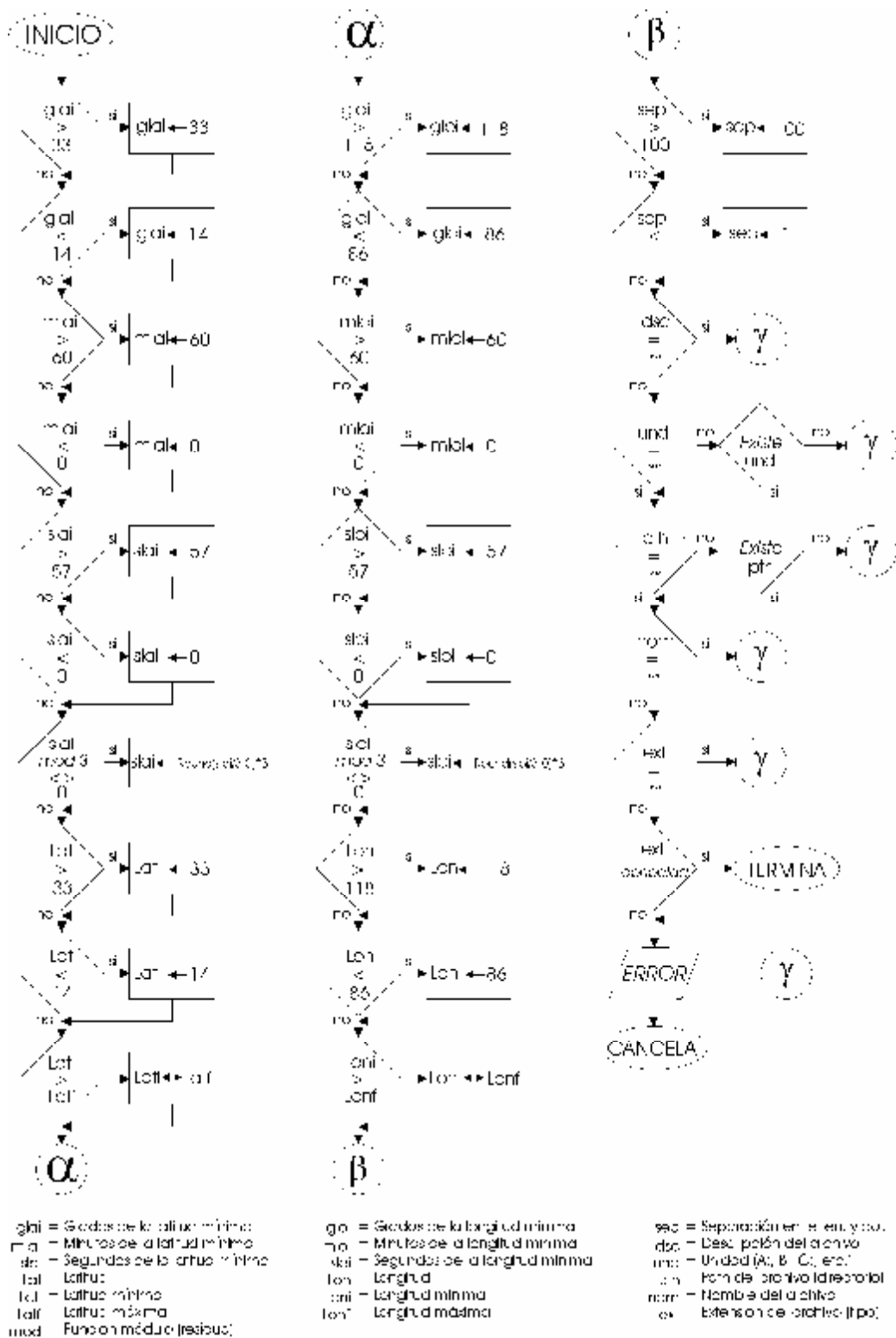
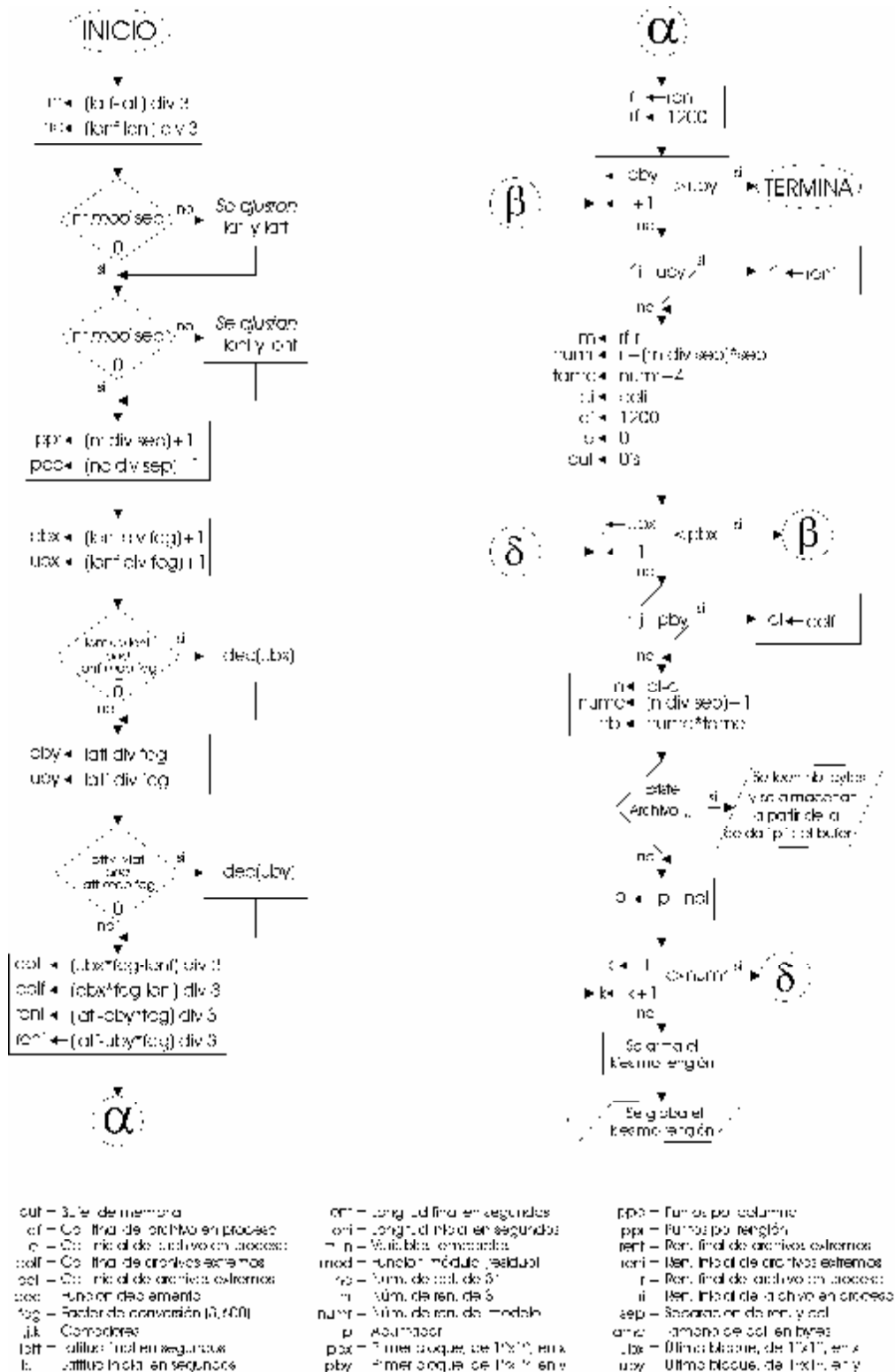
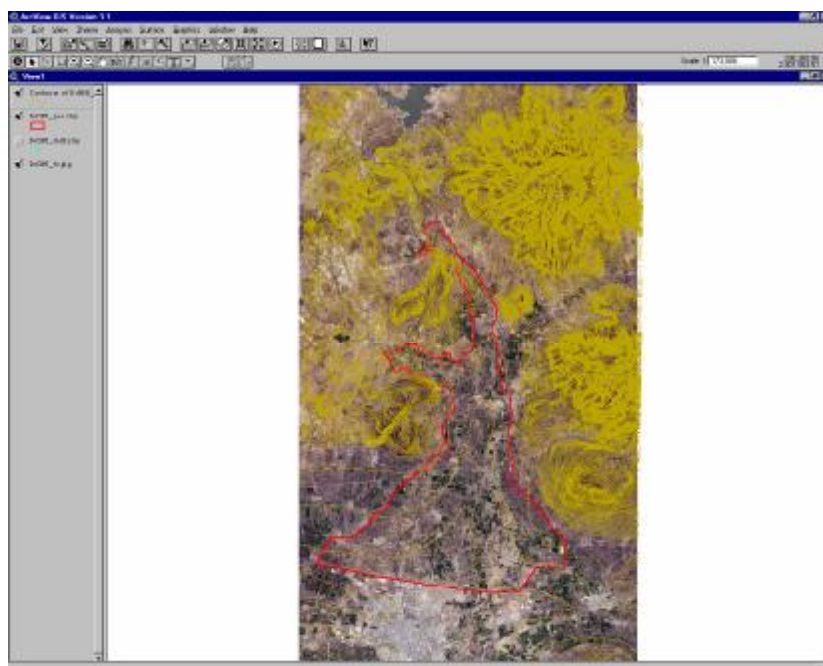
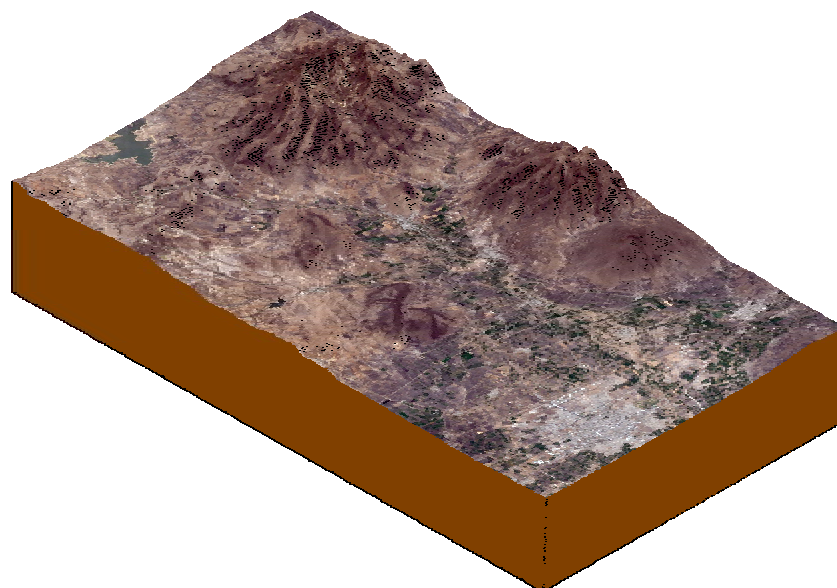


Figura 2. Diagrama de flujo de la validación de los datos de entrada.





**Figura 4. Curvas de nivel generadas con Arc-view.**



**Figura 6. Mapa tridimensional generado con Idrisi32.**

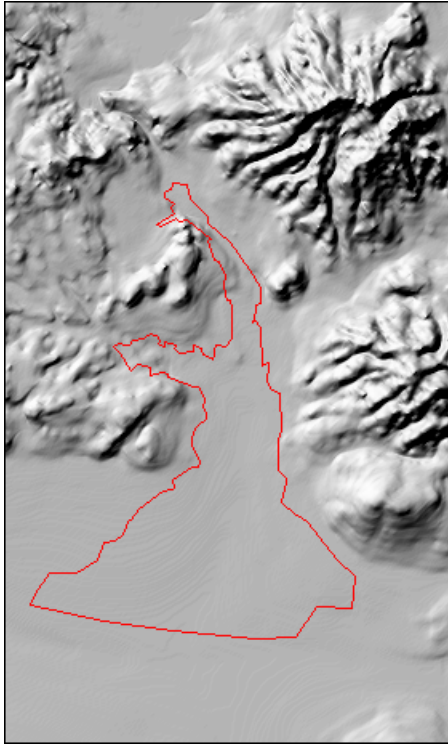


Figura 5. Mapa de sombreado de pendientes generado con Surfer

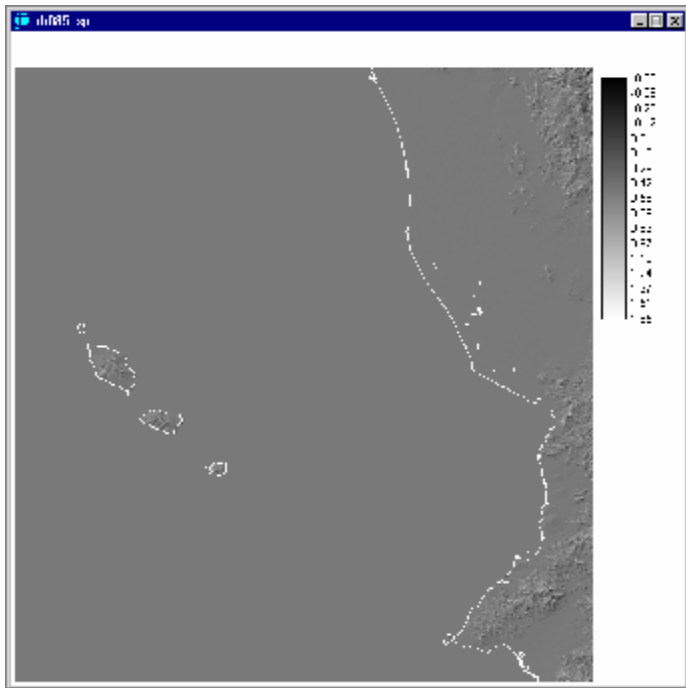


Figura 7. Vectorización del perímetro de una costa e islas, utilizando Micrografx Designer.

3. Botón de ayuda. Al oprimirlo se visualiza una ventana de ayuda en la cual se puede ver el contenido, el índice, o bien, una opción de búsqueda de texto.

El programa está protegido contra copia, mediante una llave física, por lo que al inicio de su ejecución verifica que ésta se encuentre colocada en el puerto paralelo, de no ser así, la ejecución se detiene y se le envía un mensaje al usuario pidiéndole que la coloque.

Los archivos de datos se encuentran protegidos mediante un ruido aleatorio generado por la llave física, lo cual hace imposible restituirlos mediante ingeniería inversa.

### Desempeño del Sistema

Al comparar el desempeño del sistema en relación con los sistemas anteriores, con el programa de INEGI y ExtraeGEMA se obtuvieron tiempos de ejecución diez veces menores, a pesar de que se requiere eliminar el ruido aleatorio de los datos. El tiempo necesario para generar un modelo altimétrico, así como el espacio en disco requerido por el mismo, es función del formato de salida como se puede ver en el Cuadro 1.

### Validación del Sistema

Con el fin de validar los modelos generados por el sistema, se efectuaron los siguientes ejercicios:

1. Obtener curvas de nivel, utilizando Arcview.
2. Obtener un mapa de sombreado de pendientes (hill shading), utilizando Surfer para Windows.
3. Obtener un mapa tridimensional, utilizando Idrisi32.

Cuadro 1. Tiempo y espacio en disco utilizado por los diferentes modelos<sup>†</sup>.

Formato	Tiempo	Tamaño
	s	Mbytes
BMP	1	0.17
CSV	17	41.20
GRD	1	5.50
IMG	3	2.75
RST	3	2.75
SHP	49	68.70

<sup>†</sup> Los datos corresponden a un modelo de 1° por 1° generado en una PC Pentium III a 700Mz, 64 MB de RAM, CD-ROM 32X y sistema operativo Windows 98.

4. Vectorizar el perímetro de una costa e islas, utilizando Micrograf x Designer.

En todos los casos, los resultados obtenidos se analizaron mediante capas de control y el ajuste resultó perfecto como puede verse en las Figuras 4 a 7. Las figuras mostradas son resultado del procesamiento en los sistemas de cómputo indicados, utilizando como material inicial los modelos de elevación obtenidos mediante SIGMA.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El sistema SIGMA es más fácil de utilizar que los dos anteriores, el GEMA (INEGI) y ExtraeGEMA (Palacios), por contar con una interfaz gráfica intuitiva.
- El sistema SIGMA es 10 veces más rápido que el de GEMA (INEGI) y ExtraeGEMA (Palacios), esto como resultado de un método eficiente de decodificación de los datos de GEMA.
- El sistema SIGMA permite generar modelos de más de un archivo, evitando así el proceso de unión de resultados parciales.
- La verificación de los modelos generados por el sistema SIGMA muestra que éstos son confiables.
- Por todo lo anterior, es factible que a mediano plazo se incluyan al sistema otras bases de datos de

elevaciones, como los Modelos Digitales de Elevación a escala 1:50 000 de INEGI o las bases de datos de elevaciones disponibles en el mundo a la fecha, a fin de incrementar su potencial y utilidad.

### LITERATURA CITADA

- Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. 1997. Idrisi for Windows tutorial exercises. Clark University. Worcester, MA.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 1993. Understanding GIS, the Arc/Info Method. Redlands CA.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 1996. ArcView GIS The Geographic Information System for Everyone, Using ArcView GIS. Redlands CA.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 1998. ESRI Shapefile technical description. Redlands CA.
- Golden Software. 1997. SURFER for Windows user's guide. Golden CO, USA.
- Joly, F. 1988. La cartografía. Oikos-Tau. Barcelona, España
- Murray, J.D. y W. VanRyper. 1994. Graphics file formats. O'Reilly & Associates. Sebastpol, CA.
- Palacios-Sánchez, L.A. 1998. Manual del programa para extraer información de los archivos de los geomodelos de altimetría del territorio nacional (GEMA). Servicios Integrales en Ingeniería y Sistemas. Hermosillo, Sonora, México.
- Pedraza-Oropeza, F. 1999. Generación de capas vectoriales de puntos en formato ArcView a partir de los geomodelos de altimetría del territorio nacional del INEGI (GEMA). Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Ríos, S. 1995. Modelización. AU 822. Alianza Ediciones. Madrid, España.