

PRÁCTICO 13

MODELOS DIGITALES DEL TERRENO (MDT)

Objetivos.

- Utilización del Programa Surfer 7.
- Creación de Modelos Digitales del Terreno.

Material Requerido.

Fotografías del área de estudio, Estereoscopio de espejos, barra de paralajes, Software Surfer 7.0

Introducción



Los modelos digitales del terreno (MDT) son una parte elemental de la información integrante de los sistemas de información geográfica. Aquí veremos la base conceptual de los MDT con el fin de poder comprender los aspectos relativos a su construcción y manejo.

Figura 13-1

MODELOS

Un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma comprensible una porción de la realidad empírica.

El modelo reproduce solamente algunas propiedades del objeto o sistema original que queda representado por otro sistema de menor complejidad. Tal simplificación se puede llevar a cabo de muchas maneras, en función de los objetivos que sea necesario cubrir al establecerlo.

Los modelos se construyen para conocer o predecir propiedades del objeto real.

La existencia de la relación simétrica entre modelo y realidad permite que un resultado relativo al modelo pueda traducirse en otro relativo al objeto real y permitir que las respuestas derivadas del modelo sean aplicables a la realidad sin perder sentido.

Dado que el modelo representa la realidad con una cantidad menor de información, existe un error inherente al proceso de modelización que puede ser reducido pero no eliminado.

La reducción del error puede hacerse por dos caminos complementarios:

- Mayor precisión en la medida y mejor selección de los componentes, sin aumentar la complejidad del modelo.
- Mayor cantidad de componentes, aumentando de esta manera la complejidad del modelo.

La eliminación del error implicaría la identificación del modelo con el objeto real; en este sentido, debe buscarse un compromiso entre la complejidad del modelo y el error admisible en los resultados.

TIPOS DE MODELOS

Una clasificación muy usada es la de Turner (1970) la cual divide los modelos en icónicos, análogos y simbólicos.

Modelo icónicos

En los modelos icónicos, la relación de correspondencia se establece a través de las propiedades morfológicas, habitualmente un cambio de escala con conservación del resto de las propiedades topológicas.



Figura 13-2

Un modelo icónico conserva las proporciones del objeto real mediante una reducción de escala y una selección de las propiedades representadas.

Por ejemplo: una maqueta donde se ha establecido una reducción de tamaño conservando las relaciones dimensionales básicas.

Modelos análogos

Los modelos análogos se construyen mediante un conjunto de convenciones que sintetizan y codifican propiedades del objeto real para facilitar la interpretación de las mismas.

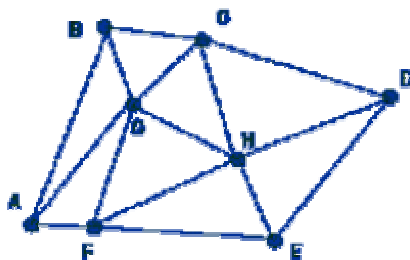


Figura 13-3

Por ejemplo: un mapa impreso, construido mediante un conjunto de convenciones cartográficas que hacen legibles propiedades tales como las altitudes, distancias, localización física de objetos geográficos, etc.

Un ejemplo de modelo análogo es el utilizado para resolver el problema del camino más corto entre dos vértices de un dibujo. Los lugares se representan mediante pequeñas anillos y los caminos entre ellos se modelizan mediante líneas de la misma longitud que el camino real.

Modelos simbólicos

Los modelos simbólicos representan la realidad mediante la identificación y codificación en una estructura geométrica de sus elementos básicos. Llegan a un nivel superior de abstracción ya que el objeto real queda representado mediante una simbolización matemática.



Figura 13-4

MODELO DIGITAL DEL TERRENO

Un MDT es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.

Los MDT están codificados en cifras; por lo cual son modelos simbólicos. Los MDT presentan algunas ventajas sobre el resto de tipos de modelos, derivadas de su naturaleza numérica:

- No ambigüedad: cada elemento del modelo tiene unas propiedades y valores específicos y explícitos.
- Verificabilidad: los resultados se construyen mediante pasos explícitos y concretos que pueden ser analizados uno a uno y comprobados en todas las fases del proceso.
- Repetibilidad: los resultados no están sometidos, a menos que de diseño expresamente, a factores aleatorios o incontrolados y pueden ser comprobados y replicados las veces que se desee.

La diferencia básica entre los modelos digitales y los modelos analógicos reside en que los primeros están codificados en cifras, lo que permite su tratamiento por medios informáticos.

Los mapas son la versión analógica de los MDT y se los denomina modelos analógicos del terreno (MAT). Ambos tipos de modelos se complementan y no es previsible la total sustitución de unos por los otros.

Para llegar a la elaboración de los modelos digitales es necesario efectuar un proceso de codificación de la información, que permite una representación virtual en forma de cifras.

MODELOS DE DATOS PARA UN MDT

En los MDT la información referente a la topografía o a cualquier otro hecho tridimensional, se puede representar mediante tres tipos de modelos de datos diferentes. Las diferencias entre ellos reside en cuáles son los elementos de base utilizados:

- Puntos: en cada uno de ellos se ha recogido su posición geométrica (mediante las coordenadas $x - y$) y la altura de la topografía en ese lugar (z).
- Líneas: es este caso se usa una línea (conjunto de segmentos rectos) para recoger la localización espacial y la altitud de los datos. Es posible emplear tanto las propias curvas de nivel tomadas de un mapa fuente como las líneas estructurales del relieve, ríos, etc.
- Funciones matemáticas: establecen la relación entre dos coordenadas espaciales y la variable altura, son válidas para trozos reducidos del terreno.

Modelos de datos basados en puntos

En cada uno de los puntos se ha medido las coordenadas $x - y$ y de la posición geométrica y la z de la altitud. Por otra parte, es necesario representar igualmente la topología, indicando la relación de vecindad entre los puntos. Existen dos modalidades según los puntos estén dispuesto regularmente sobre el espacio (matriz de altitudes) o distribuidos de modo irregular (organización de red irregular de triángulos, TIN).

La distribución regular es una estructura muy usual en la creación de un MDT, aunque presenta el inconveniente de su incapacidad para adaptarse a las diferentes características de la topografía del terreno; en donde éste es plano, sobran puntos que sólo reiteran la información ya conocida; por el contrario, cuando el terreno se hace empinado y rápidamente cambiante, puede llegar a faltar información y no se representa adecuadamente la disposición del relieve. Su principal ventaja es la facilidad de carga de la información, sólo necesitando incorporar las coordenadas $x-y-z$. En caso de querer mayor precisión se aumenta la cantidad de puntos de referencia sobre el terreno.

En la estructura de datos con puntos irregulares la topología ya no está implícitamente contenida, se puede añadir de forma explícita. Normalmente la recolección de información necesaria para generar un MDT se hace obteniendo una muestra de las alturas en diversos puntos en muchas

ocasiones estos puntos están distribuidos irregularmente. Posteriormente mediante procedimientos de interpolación se puede generar una matriz de alturas con los puntos distribuidos regularmente o mantener la distribución irregular y crear con ellos la denominada TIN (Triangular Irregular Network). Existen dos formas de almacenar la información de una TIN.

Por un lado, la estructura TIN basada en los puntos fue la inicialmente sugerida por los inventores del concepto TIN. En este caso, en un fichero se almacenan, para cada vértice, coordenadas x, coordenadas y, altura (coordenada z), identificadores de los vértices conectados por líneas rectas a él. Esta organización recoge la topología a través de la referencia a los vértices vecinos conectados a cada punto de la red.

La otra estructura se basa en los triángulos que se pueden establecer a partir de unir los vértices o puntos distribuidos irregularmente. Con este método se guardan, para cada triángulo, el identificador de triángulo, identificador de los tres vértices que lo determinan, y los identificadores de los triángulos que lo rodean. En segundo lugar se almacenan los vértices para cada uno de ellos: identificados de vértice, coordenada x, coordenada y y coordenada z (altura).

Un elemento importante de la estructura TIN, en cualquiera de sus modalidades, es la elección de los puntos de muestreo en los cuales se recoge la información sobre las alturas. Deben ser más numerosos en las zonas de relieve movido y menos en las que la topografía es plana. Asimismo es conveniente utilizar puntos críticos de la superficie, como son: cimas, mínimos locales, etc.

DIFERENCIAS ENTRE SIG Y MDT

Los sistemas de información geográfica deben ser separados con claridad de los modelos digitales del terreno.

Los SIG integran información procedente de fuentes muy variadas entre las que se cuentan los propios MDT, las imágenes digitales procedentes de los satélites de observación terrestre y todo tipo de cartografía convencional convenientemente digitalizada.

Los MDT, al tratar exclusivamente de la distribución espacial de variables cuantitativas y continuas, pueden considerarse, en este contexto, como una aportación a los SIG, relativamente reciente y de cierta trascendencia pues permite la entrada de nueva información en los procesos de modelización cartográfica. Aunque la aplicación más inmediata es añadir la tercera dimensión a la información inicialmente bidimensional mediante la incorporación del modelo digital de elevaciones, puede generarse igualmente información completamente nueva mediante tratamientos internos que generan modelos temáticos específicos.

MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

Un modelo digital de elevaciones (MDE) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno.

Un MDE puede describirse de forma genérica como una función de la forma:

$$z = f(x, y)$$

donde z representa la altitud del terreno en el punto de coordenadas (x, y). Los valores de x e y suelen corresponder con las abscisas y ordenadas de un sistema de coordenadas plano, habitualmente un sistema de proyección cartográfica.

Cuanto el relieve se complica o la superficie aumenta, el ajuste de una ecuación para su descripción se hace imposible. Como alternativa, se han buscado soluciones para representar la altitud mediante conjuntos limitados de cotas, diseñando las estructuras de datos que buscan un equilibrio entre la facilidad de manejo y la descripción realista del relieve.

En la práctica la función no es continua, sino que se resuelve a intervalos discretos, por lo que el MDE está compuesto por un conjunto finito y explícito de elementos. Esta generalización implica una pérdida de información que incrementa el error del MDE y, en consecuencia, se propaga a los modelos derivados.

ESTRUCTURAS DE DATOS DEL MDE

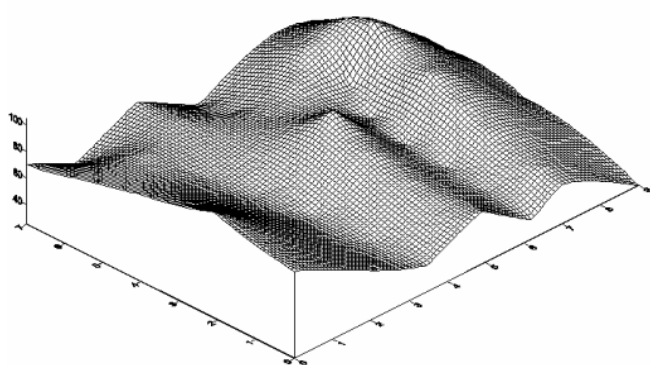
La unidad básica de información en un MDE es un valor de altitud z , al que acompañan los valores correspondientes de x e y , expresados en un sistema de proyección geográfica para una precisa referenciación espacial. Las variantes aparecen cuando se definen las interrelaciones entre estas unidades elementales de información. El diseño de estas interrelaciones es lo que configura las diferentes opciones en la estructura de datos, cuya elección es trascendental pues condiciona completamente el futuro manejo de la información. Mientras que los mapas convencionales usan casi exclusivamente una única convención (las curvas de nivel) para la representación de la superficie del terreno, los MDE disponen de alternativas más variadas, desde una transposición casi directa de las isohipsas hasta otras menos habituales en la cartografía impresa pero más adaptadas al proceso digital. En todas ellas la altitud se describe básicamente mediante un conjunto finito y explícito de cotas. El valor propio de un punto de localización arbitraria será, en su caso, estimado por interpolación a partir de los datos de su entorno.

La elección del tipo de estructura tiene importantes implicaciones debido a que las formas de tratamiento numérico pueden ser muy diferentes.

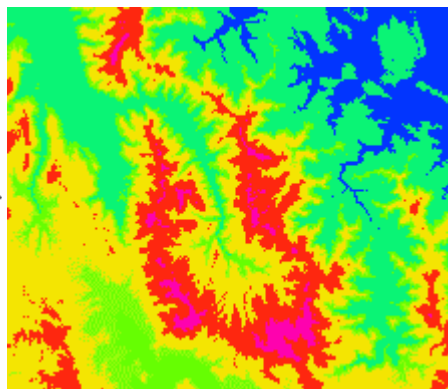
Los valores numéricos de las variables puede ser conceptualizado como un arreglo matricial o tabular de los valores (x, y, z) para cada punto. La siguiente tabla es una de las formas de representación:

X	Y	Z
277800	2178550	1996
277800	2178500	1995
277800	2178450	1993
277800	2178400	1992
277800	2178350	1991
277800	2178300	1990
277800	2178250	1990
.....		
277850	2178550	1996
277850	2178500	2000
277850	2178450	2007
.....		

Los modelos digitales de elevación por lo general se visualizan como un modelo de tercera dimensión, aunque también existen otras formas de representación como puede ser asignar valores a los intervalos de alturas diferenciados por gamas, ya sea de tonos de gris o de colores. Por lo cual la representación gráfica puede ser en dos o tres dimensiones.



Representación tipo malla de alambre



Representación en dos dimensiones por medio de tonos

Figura 13-5

INTERPOLACIÓN PARA HALLAR LA ALTURA

En un MDE vectorial no es sencillo acceder directamente a un dato por su posición espacial, como ocurre en los modelos raster. Por lo cual la localización de los datos debe realizarse mediante operaciones de búsqueda globales. Dado el enorme número de datos que habitualmente componen un MDE vectorial, la búsqueda secuencial punto a punto es poco eficaz debido al elevado tiempo que necesita.

La interpolación se puede definir como un procedimiento que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio (punto no muestral, con un valor estimado), conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio (puntos muestrales, con valores reales).

Los métodos de interpolación más usuales a partir de un conjunto de puntos distribuidos irregularmente puede reducirse a tres: ponderación en función inversa de la distancia, superficies de tendencia y kriging.

a) Método general: IDW (ponderación por distancia)

En el método IDW (Inverse Distance Weighting) la interpolación del punto problema se realiza asignando pesos a los datos del entorno en función inversa de la distancia que los separa.

La fórmula general es:

$$\hat{z}_j = \sum_{i=1}^n k_{ij} \cdot z_i$$

donde z_j es el valor estimado para el punto j ; n es el número de puntos usados en la interpolación; z_i el valor en el punto i -ésimo y K_{ij} el peso asociado al dato i en el cálculo del nodo j . Los pesos K varían entre 0 y 1 para cada dato y la suma total de ellos es la unidad.

Para establecer una función de proporcionalidad entre el peso y la distancia, la fórmula general queda como sigue:

$$\hat{z}_j = \frac{\sum_i \frac{z_i}{d_{ij}^b}}{\sum_i \frac{1}{d_{ij}^b}}$$

donde $k_{ij} = \frac{1}{d_{ij}^b}$ y b es un exponente de ponderación que controla la forma en la que el peso disminuye con la distancia.

Esta familia de métodos permite la generación del MDE de una forma rápida y simple. Sin embargo, se trata esencialmente de una media ponderada por lo que el resultado se encuentra siempre incluido dentro del rango de variación de los datos. Por este motivo, el correcto tratamiento de las formas cóncavas y convexas depende estrechamente de la distribución de los puntos originales y la presencia de datos auxiliares se hace muy conveniente.

b) Superficies de tendencia

Una opción alternativa, que puede reflejar más adecuadamente formas no recogidas explícitamente por los datos de entrada, es la estimación de superficies de tendencias. Su cálculo, a partir del conjunto de datos, suele hacerse mediante un ajuste por mínimos cuadrados. La ecuación polinómica resultante puede reducirse, en el caso más simple, a un plano de ajuste cuya expresión es:

$z_{x,y} = \alpha_{00} + \alpha_{10} \cdot x + \alpha_{01} \cdot y$. Lo más habitual es el uso de superficies de grado superior, cuya mayor complejidad les permite describir con más exactitud la superficie topográfica. La expresión general para una superficie de orden k , es la siguiente:

$$\hat{z}_{x,y} = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^{k-i} a_{i,j} \cdot x^i \cdot y^j$$

La elección del valor de k depende del equilibrio que se desee entre la complejidad de las operaciones y el mejor o peor ajuste a los datos originales. Se recomienda el uso de ecuaciones de grado cinco.

Algunos factores pueden afectar negativamente al uso de superficies de tendencia. El primer factor afecta al número de datos que debe ser suficiente para llevar a cabo un análisis estadísticamente significativo. El problema radica en que el número de datos determina los grados de libertad del análisis por lo que, si se acerca al número de coeficientes de la ecuación, ésta pierde significado estadístico.

Un segundo factor afecta a los análisis efectuados en la periferia del modelo: si se fuerza a realizar extrapolaciones (cuando el punto problema no está rodeado por los datos, sino que éstos se sitúan lateralmente), los valores marginales pueden adoptar dimensiones disparatadas, problema que se agrava al elevar el grado de la ecuación.

Otro problema es que si los datos no representan un área similar, la superficie de tendencia se alargará paralelamente a su patrón de distribución. Por este motivo, las distribuciones regulares y aleatorias darán habitualmente buenos resultados, mientras que la tendencia a agrupar los datos será perjudicial.

c) kriging (la hipótesis de la variable regionalizada)

El kriging¹ es un método de interpolación con una expresión general similar al IDW. La diferencia básica es que asume que la altitud puede definirse como una variable regionalizada.

Esta hipótesis supone que la variación espacial de la variable a representar puede ser explicada al menos parcialmente mediante funciones de correlación espacial: la variación espacial de los valores de z puede deducirse de los valores circundantes de acuerdo con unas funciones homogéneas en toda el área.

Las funciones pueden deducirse analizando la correlación espacial entre los datos en función de la distancia entre ellos midiendo la semivarianza entre datos separados por distancias diferentes.

Este método realiza una estimación del valor en el punto problema mediante una media ponderada en función de la distancia:

$$\hat{z}_{x,y} = \sum_{i=1}^k \lambda_i \cdot z_i$$

donde se usa un conjunto de k datos situados en el entorno de punto problema y λ_i representa los pesos asignados a cada uno de ellos. La originalidad del método reside en el criterio utilizado para asignar los valores de ponderación a cada dato y en que permite asignar un valor de error para cada punto problema. Asimismo, la definición del área adecuada del entorno puede hacerse con criterios estadísticos lo que aumenta la robustez del método.

En el caso de los MDE es razonable suponer que el valor de altitud en un punto está relacionado de alguna manera con el valor de los puntos vecinos, distribuidos a distancias variables. Puede suponerse que la influencia de los puntos más lejanos es menor que la de los más próximos.

Aunque el kriging es un método de estimación óptimo desde el punto de vista estadístico, presenta algunas dificultades a la hora de ser utilizado como método de construcción de los MDE:

- La interdependencia entre los datos debe ser función exclusivamente de posición relativa y no de su localización espacial absoluta.

¹ Debe su nombre a su creador D. G. Krige, geólogo y estadístico

- No permite el tratamiento de discontinuidades topográficas que supongan cambios bruscos, como rupturas de pendientes.
- No suele dar buen resultado en la construcción de MDE, generándose modelos muy suavizados.
- Exige cálculos numéricos intensivos, siendo lenta su ejecución.

TIN (red de triángulos irregulares)

Habitualmente la generación de una estructura TIN parte de datos tomados en puntos, de cada uno de los cuales se conoce sus tres coordenadas x, y, z . En muchos casos, esta muestra de puntos ha sido extraída de una estructura raster, de la cual se han escogido algunos de los puntos que la componen. Usualmente se eligen aquellos que aportan más información sobre la disposición de la topografía, los llamados puntos críticos del relieve: cimas, pasos, fondos de una depresión. Igualmente son más importantes y más informativos los puntos que integran las llamadas líneas críticas del relieve: líneas de cumbres, cauces de ríos, etc.

El primer paso es generar la triangulación de esos puntos. En un conjunto de puntos en un plano se pueden definir multitud de triángulos, pero los más adecuados para la estructura TIN son los equiláteros, con ángulos iguales o próximos a 60° . Para conseguir este tipo de triangulación el procedimiento indicado es determinar los llamados triángulos de Delauney.

Partiendo de los triángulos anteriores se puede proceder a la fase de interpolación. Cada tres puntos, que definen uno de los triángulos de la red TIN, determinan un plano cuya ecuación puede ser establecida desde los valores de las tres coordenadas (x, y, z) de cada punto; a partir de esta ecuación se puede obtener la altura en cualquier punto interior de ese triángulo. Este procedimiento supone que la altura varía dentro del triángulo linealmente y que todas las alturas del interior están entre la altura máxima y mínima de las que existen en los vértices.

El modelo TIN tiene varias cualidades de interés:

- No presupone ni exige la continuidad estadística de la superficie a representar
- Puede generarse incorporando una amplia variedad de estructuras auxiliares
- Se adapta a la complejidad del terreno, variando la densidad local de la red
- Respeta los valores de los datos que son usados como vértices
- En el caso de los SIG el método más habitual es el conocido como triangulación de Delaunay:
- Dados 2 puntos P_i y P_j , en un plano T , la perpendicular al segmento $P_i P_j$ en su punto medio divide el plano en dos regiones V_i y V_j
- La región V_i contiene todos y sólo los puntos cuya distancia a P_i es menor que a P_j y viceversa
- El concepto se extiende a múltiples puntos P_n de forma que cada uno de ellos se asocia a una región V_n
- Si el concepto se aplica a un dominio cerrado se genera un conjunto de polígonos convexos que teselan el plano denominados regiones de Voronoi
- Si se conectan entre sí los puntos que comparten un borde de una región se obtiene una triangulación de Delaunay
- La forma más trivial de construir un TIN es usar todos los vértices y nodos de las curvas de nivel, así como los puntos singulares como vértices de triángulos. Este modelo masivo no es deseable:
- Por la enorme cantidad de elementos que sería necesario construir y manejar para una zona de cierta extensión.
- Por la redundancia debida a que muchos puntos procedentes de una digitalización rutinaria no aportan una información significativa.
- Formalmente, el problema puede plantearse como sigue:
- Dado un conjunto H de n puntos acotados, elegir un subconjunto mínimo S de H constituido por m puntos, a partir del cual pueda reconstruirse H con el menor error posible.

- Los dos enfoques básicos son:
- Hacer la selección antes de la triangulación y realizar posteriormente un modelo masivo. La estrategia es suministrar al algoritmo de TD los puntos básicos ya elegidos mediante la adecuada generalización cartográfica de las curvas de nivel y una selección de puntos críticos.
- Utilizar un algoritmo de TD que realice la selección según realiza la construcción de la red.

Los métodos de construcción de TIN más utilizados pueden agruparse en las siguientes clases:

1. Inserción incremental, que comienza con una triangulación mínima y a la que se añaden progresiva y selectivamente nuevos puntos como vértices de la red.
2. Reducción selectiva, por eliminación de puntos a partir de un modelo masivo mediante criterios de incremento mínimo del error.

LA TRANSFORMACIÓN VECTOR – RASTER

Los modelos basados en triángulos generan una estructura más difícil de manejar que la matriz regular.

Por este motivo, lo más usual es crear un MDE según el modelo TIN y, posteriormente, generar un MDE matricial convencional.

Aunque la estructura matricial no puede representar puntos singulares ni estructuras lineales como el TIN, el proceso aprovecha parcialmente la capacidad del TIN para integrar discontinuidades en la generación del MDE por lo que es preferible a la generación directa de la matriz regular a partir de los datos de entrada.

La interpolación puede realizarse por dos métodos básicos:

- Interpolación lineal: La altitud del punto problema se estima directamente a partir la ecuación del plano definido por los tres vértices del triángulo que lo contiene.
- Interpolación cuántica: Considera la superficie definida por el TIN como un continuo y, por tanto, suaviza las zonas de los vértices y lados; para esta interpolación se utiliza una ecuación polinómica bivariable de quinto grado.

VISUALIZACIÓN DEL RELIEVE MEDIANTE SOMBREADO E ILUMINACIÓN

El relieve en los modelos digitales se expresa en términos de elevación sobre un nivel de referencia, por lo que su traspaso a una superficie bidimensional no puede realizarse de forma completa y es necesario acudir a simplificaciones de diversos tipos.

Los valores de altitud pueden codificarse directamente en una escala de grises, donde el menor valor correspondería al negro y el mayor al blanco. La apariencia visual de este tipo de representaciones hace difícil la localización precisa de los elementos del relieve. Un caso similar lo plantea la presentación de los valores de pendiente que, en los mapas convencionales, suele hacerse más con criterios visuales para facilitar la interpretación que intentando representar fielmente los valores reales.

Existe la posibilidad de representar cartográficamente el relieve mediante un mapa del sombreado o iluminación de la topografía. En este caso, la variable representada es una simulación del nivel de luz (o de sombra) reflejado por el relieve al ser iluminado por el sol situado en una posición geográfica. Esta cantidad de luz reflejada depende de la posición del sol y de la pendiente del relieve. Las zonas con más pendiente, que estén enfrentadas directamente al sol, reflejan mucha luz y por ello son muy visibles; aquellas que están en las laderas no iluminadas directamente por el sol no reflejan luz y están oscuras.

Una de las fórmulas de cálculo del sombreado/iluminación del relieve más simple es la propuesta por Franklin (1987):

$$I_i = \cos(\alpha) + \sin(\alpha) \cdot \cotang(\beta) \cdot \cos(\theta)$$

donde a es la pendiente del terreno en el punto i , b es la elevación del sol sobre el horizonte, y q es la diferencia entre la orientación del terreno en ese punto y la posición del sol. Todos los términos se expresan en grados. El valor de I_i indica una relación entre la luz solar directa y la luz difusa, las zonas no orientadas hacia el sol únicamente reciben luz difusa y pueden por lo tanto tener valores negativos de I_i .

Ejemplos

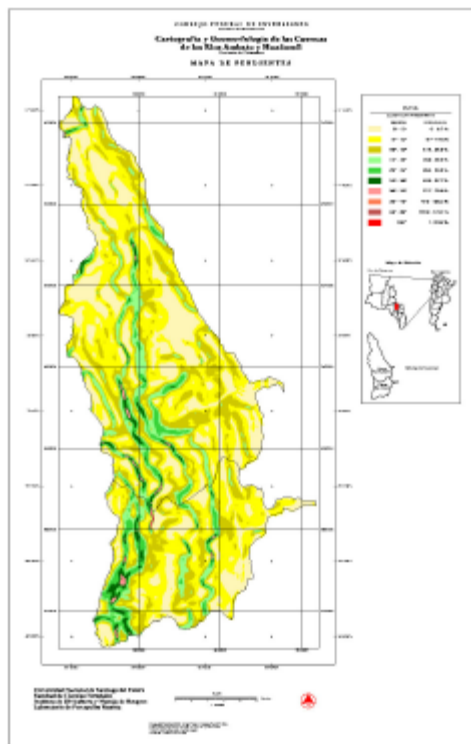


Figura 13-6: Mapa de pendientes. (Cuencas Río Ambato y Huañomil, Prov. de Catamarca) Realizado con el software Erdas Imagine

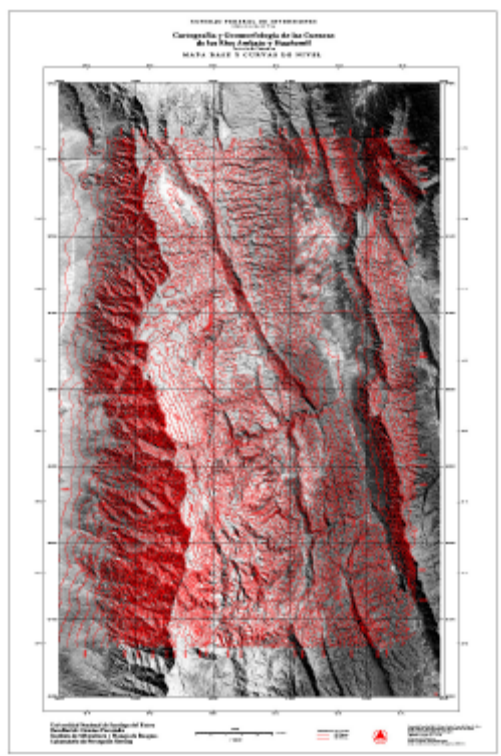


Figura 13-7: Curvas de nivel sobre una imagen satelital (Cuencas Río Ambato y Huañomil, Prov. de Catamarca)

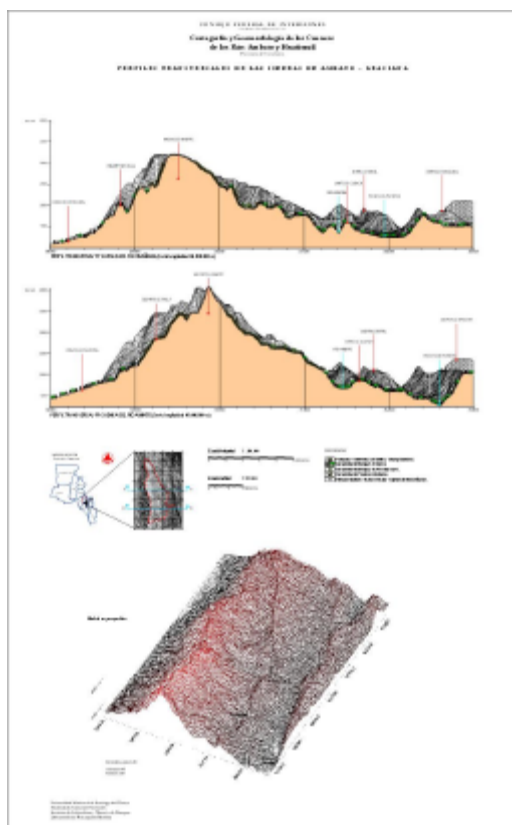


Figura 13-8: Modelo 3D y cortes (Cuencas Río Ambato y Huañomil, Prov. de Catamarca) Realizado con el software Surfer.

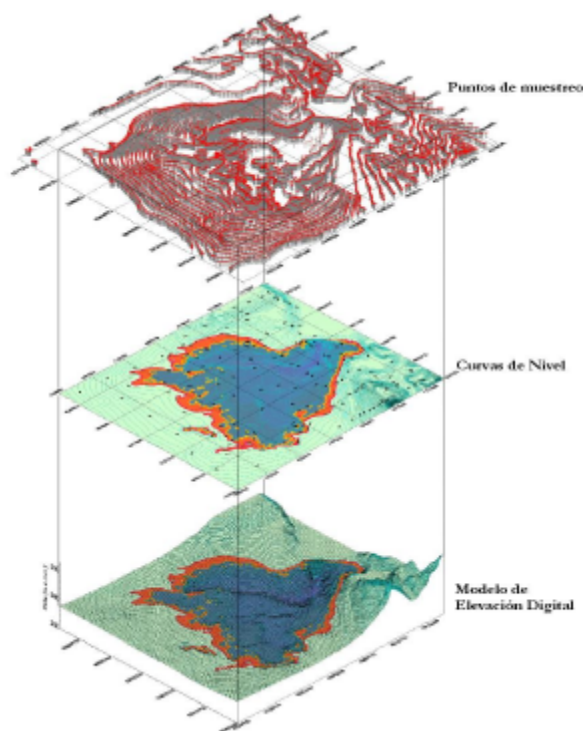


Figura 13-9: Puntos de muestreo, Curvas de nivel y modelo de elevación digital. (Batimetría del embalse de Río Hondo, Pcia. de Sgo. del Estero) Realizado con el software Surfer.

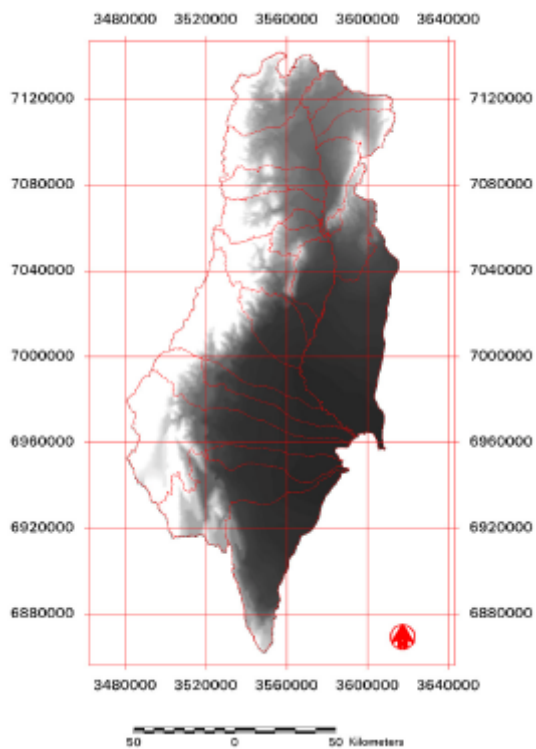


Figura 13-10: Modelo de elevación digital. (Alta cuenca del sistema Salí-Dulce) Realizado con el software Erdas Imagene

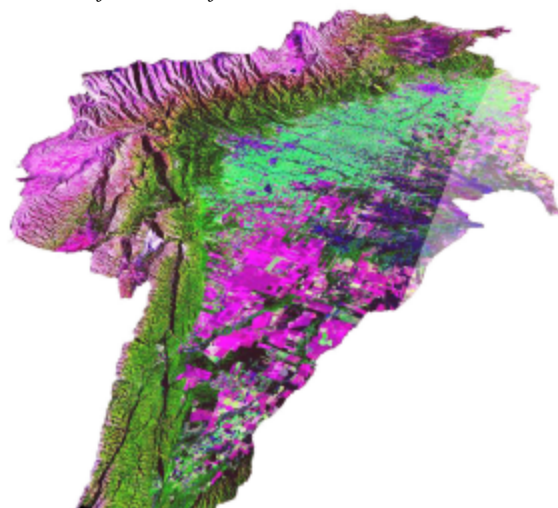


Figura 13-11: Modelo de elevación digital, visto en perspectiva y con una imagen satelital superpuesta (Slope) (Alta cuenca del sistema Salí-Dulce)

SOFTWARE

Hay una gran variedad de programas disponibles. Algunos mas sencillos y limitados, y otros mas complejos y completos.

- Erdas Imagine (con modulo 3D): Es muy completo. Se utiliza para la generación de MDT. Permite hacer mapas de pendiente, y superponer los MDT con otras capas (imágenes satelitales, capas de vegetación, suelos, etc.), y realizar un video de un vuelo a través del modelo.
- Surfer 3D: Es un programa sencillo y a la vez bastante completo. Permite hacer MDE. Parte de archivos que contengan datos x,y,z. a los que se puede aplicar distintos modelos de interpolación para obtener isohispas no solo valores de alturas, sino también de distintos parámetros (concentraciones, valores climáticos, etc.)
- ArcView (con modulo 3D Analyst): Es un programa utilizado para hacer SIG, al que puede instalársele un modulo especial que permite hacer un TIN y superponerlo a diferentes capas de información.
- IDRISI: Programa para trabajar con imágenes satelitales que genera MDT con ciertas limitaciones.
- ILWIS: Similar al Erdas Imagine pero orientado mas a estudios geológicos.

PRACTICA CON SURFER 3D

El programa crea en como primer medida una grilla base partiendo de un archivo de datos XYZ. Este archivo de grilla (*.GRD) es el utilizado para producir la mayoría de los mapas (salvo los mapas base y los de “poste”)

El siguiente diagrama ilustra la relación descrita:

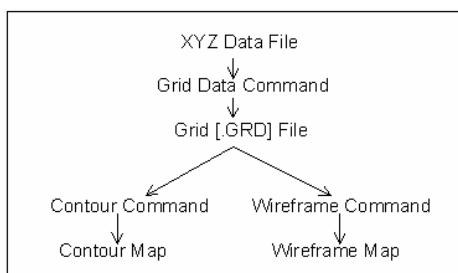


Figura 13-12

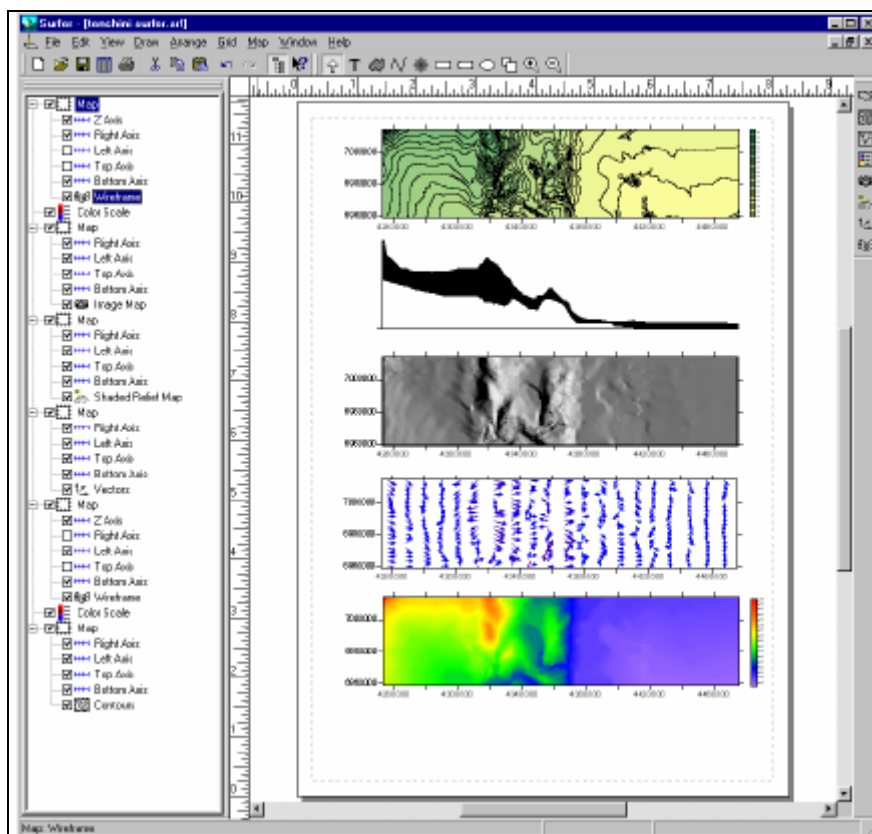


Figura 13-13: Surfer. Área de trabajo. A la izquierda se despliega el árbol de estructura de contenidos del archivo actual.

1 – Creación de un archivo de datos XYZ

Un archivo de datos XYZ contiene al menos 3 columnas de valores numéricos. Las dos primeras columnas contienen las coordenadas X-Y de los puntos, y la tercera contiene los valores de Z asignados a cada punto (alturas, etc.). Puede haber varias columnas con valores de Z, en ese caso antes de generar la grilla se deberá escoger un por vez.

	A	B	C	D
1	4400760	6972250	160	
2	4400880	6972330	160	
3	4401030	6972390	160	
4	4401230	6972460	160	
5	4401380	6972470	160	
6	4401500	6972470	160	
7	4401650	6972420	160	
8	4401840	6972420	160	
9	4402010	6972480	160	
10	4402090	6972610	160	
11	4402240	6972770	160	
12	4402280	6972890	160	

Figura 13-14

Si los datos ya están en un archivo correctamente ordenados (hoja de cálculo, base de datos, archivo de texto, etc.), no se necesita crear un nuevo archivo XYZ.

Abriendo un archivo XYZ existente

Seleccione el comando File/Open, o haga click en el icono . Se desplegará la ventana de diálogo Open. Seleccione de la lista el tipo de archivo con los datos XYZ, y haga clic en OK. Se desplegará el archivo en una ventana de la hoja de cálculo.

2 – Creando un archivo de grilla (*.GRD)

Un archivo de grilla se forma por interpolación de los datos originales. Para ello se debe elegir el método de interpolación, además de seleccionar distintos parámetros como la separación entre los puntos de grilla, los ángulos de búsqueda o radios de búsqueda, los componentes principales, etc. Los archivos de grilla se crean usando el comando Grid. Cuando se abra el cuadro de diálogo seleccione el archivo XYZ (*.DAT, *.XLS, etc.) para producir la grilla. Luego seleccione el método de interpolación a utilizar, y defina las coordenadas máximas y mínimas, y la separación entre los puntos de grilla (ello se despliega como número de columnas y filas). Debajo complete el nombre a dar al archivo de grilla y pulse OK. Aparecerá una ventana indicando el progreso de la operación.

Gridding using kriging with all data: filling the grid... 11% Time remaining: 5 sec

3 – Creando un mapa de contorno (curvas de nivel)

Selecciona en el menú Map/Contour Map para crear un mapa de contorno basado en la grilla creada. Se desplegará una ventana donde seleccionaremos el archivo de grilla a utilizar. Se pueden cambiar los parámetros para la creación del mapa de contorno o dejar los que vienen por defecto y modificarlos más tarde.

Se creará un mapa como el siguiente

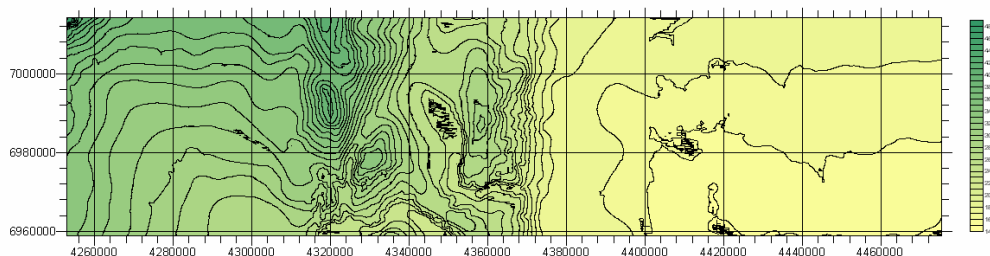


Figura 13-15
Cambiando los parámetros del mapa de contorno

Si se quiere modificar algún parámetro del mapa solo hace falta hacer doble clic en el mapa para que se despliegue un cuadro de diálogo con las diferentes opciones.

Puede seleccionar los valores máximos y mínimos de Z a mostrar, el intervalo entre valores de Z (equidistancias), los tipos de línea, etiquetas de las líneas y su formato, suavizado de las líneas de contorno, y si se pintaran las áreas entre las mismas. Algunos ajustes se pueden hacer sobre las líneas individuales, mientras que otros se aplican a la totalidad del mapa.

Guardando los mapas

Todos los mapas se van creando en una misma página que se guarda como un archivo de Surfer extensión SRF que contiene toda la información necesaria para reproducir el mapa

Exportando las curvas de nivel

Cuando haya completado el mapa puede exportarlo como un archivo de AutoCAD (*.DXF) seleccionando en el menú la opción Map/Contour Map/Export Contours.

4.- Creando un mapa de malla de alambre

Un mapa de alambre es una representación tridimensional de un archivo de grilla. Son diagramas de bloques generados por el dibujo de líneas de grilla X e Y (columnas y filas). En la intersección de estas columnas y filas se encuentra un “Nodo de grilla” con una altura proporcional al valor de Z en ese punto.

El numero de columnas y filas determina el numero de líneas X e Y dibujadas.

En el menú seleccionamos la herramienta Map/wireframe. o presionamos el icono .

Esto despliega una ventana para que seleccionemos el archivo de grilla con los datos. Una vez que aceptamos, nos despliega una ventana con las siguientes opciones:

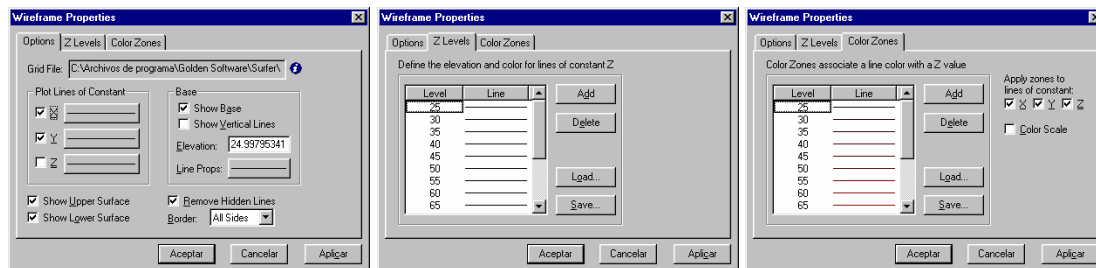


Figura 13-16

Podemos dejar las que vienen por defecto presionando Aceptar y modificarlas mas tarde. Se desplegara a continuación el mapa respectivo.

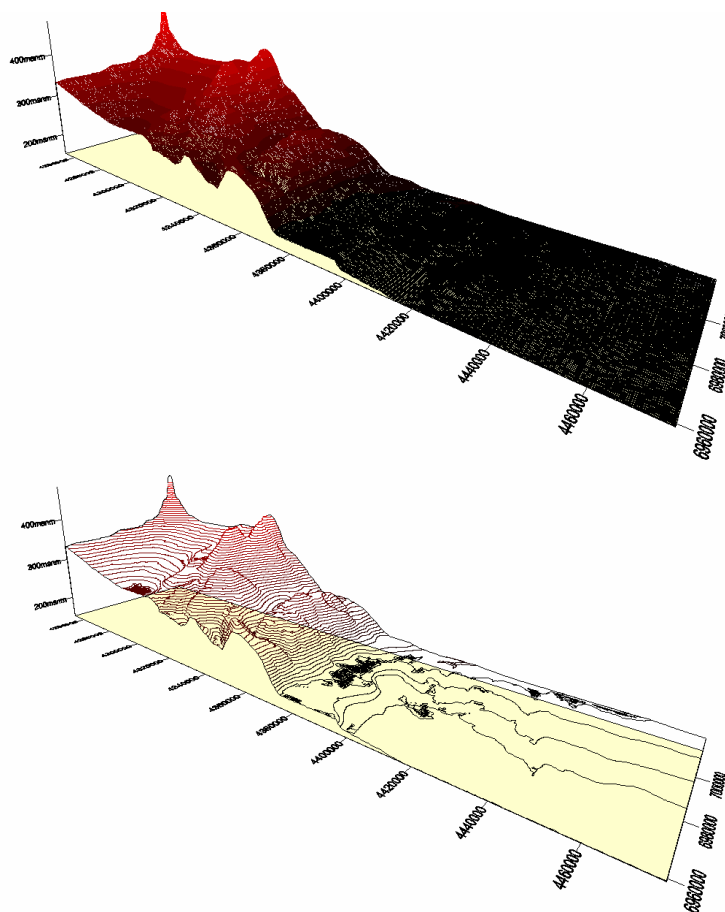


Figura 13-17

Cambiando los parámetros en un mapa de malla de alambre

Cambio de orientación: Mediante el comando Map/3D view, podemos cambiar los ángulos de visión del mapa. Seleccionando un rango de datos de la grilla (en una nueva) y mediante esta opción, podemos representar cortes como el siguiente.

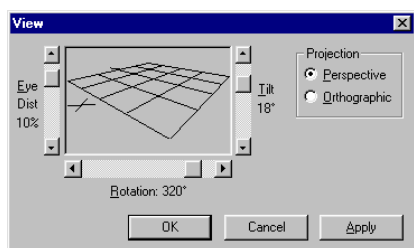


Figura 13-18

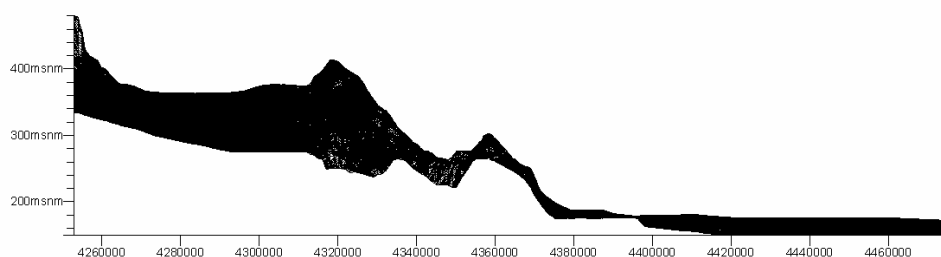


Figura 13-19

Cambio de la escala: Se puede cambiar la escala del en cualquiera de ejes. En el ejemplo siguiente se cambio la escala en la altura, de modo de exagerarla sobre el eje Z.

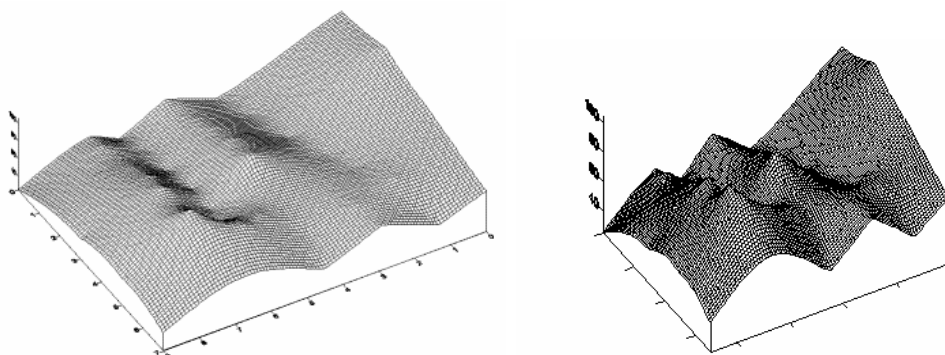


Figura 13-20 y 13-21

Adicionando zonas de color: Se pueden colorear las líneas del mapa de alambre aplicando los mismos a un conjunto individual de líneas o a la totalidad en forma de graduaciones de color. Para ello basta hacer doble clic en el mapa y seleccionar Color Zones del menú desplegado.

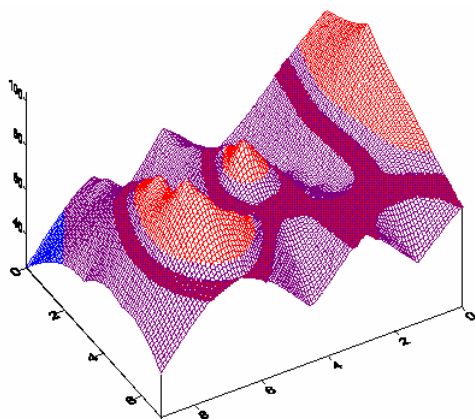


Figura 13-22: *Gráficos de Poste*

Los gráficos de poste se utilizan para ubicar la posición de los datos originales sobre un mapa. Esto nos permite visualizar la distribución de los datos en la zona de estudio. Cada punto en el mapa representa uno de los datos originales ingresados (antes de hacer el archivo de grilla).

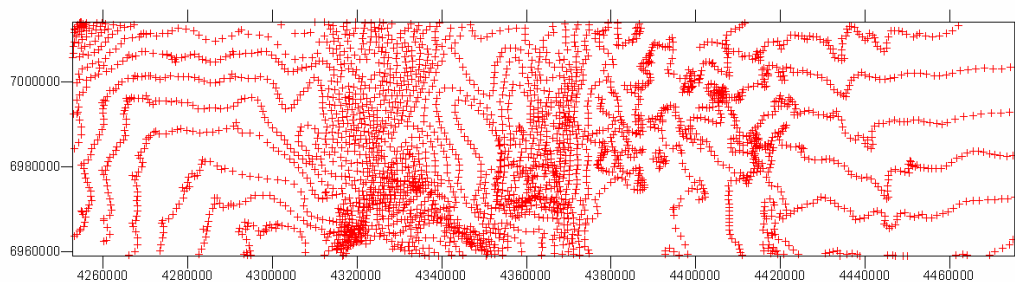


Figura 13-23

6.- Mapas vectoriales

Son representaciones graficas que indican una gradiente, por ejemplo la dirección e intensidad de una pendiente, tomadas de cada punto o nodo de la grilla. La intensidad del gradiente se expresa con un aumento del tamaño del símbolo.

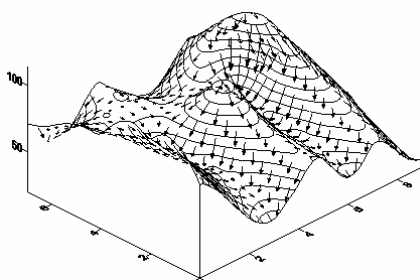


Figura 13-23

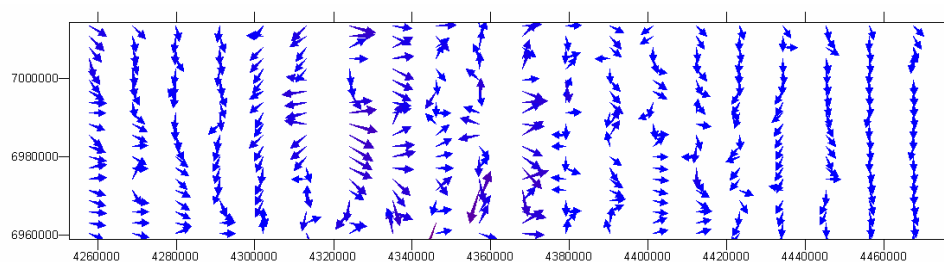


Figura 13-24

7.- Mapas de imagen

En ellos se representa en formato raster, y utilizando una escala de colores definibles, la zona de estudio.

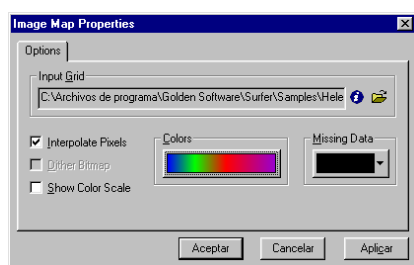


Figura 13-25

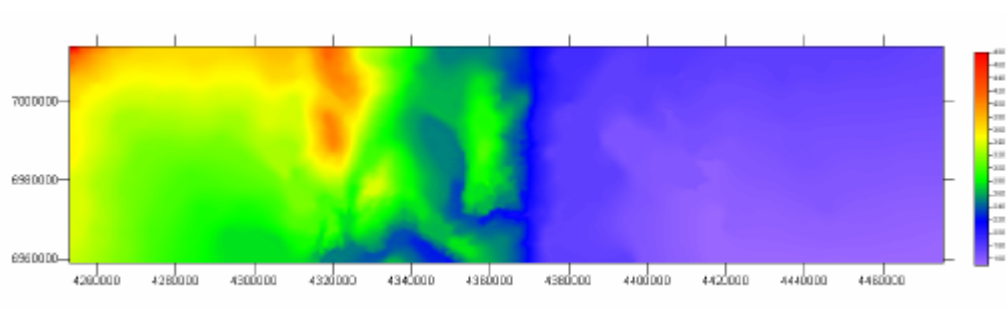


Figura 13-26

8.- Mapas de relieve sombreados

Son mapas raster sombreados según diferentes métodos de gradiente. Semeja un relieve iluminado.

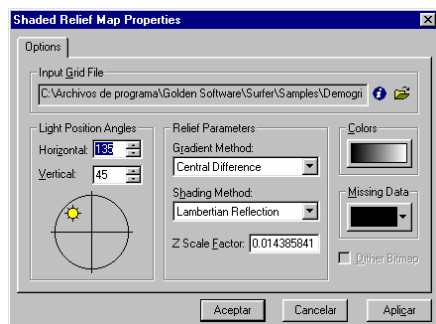
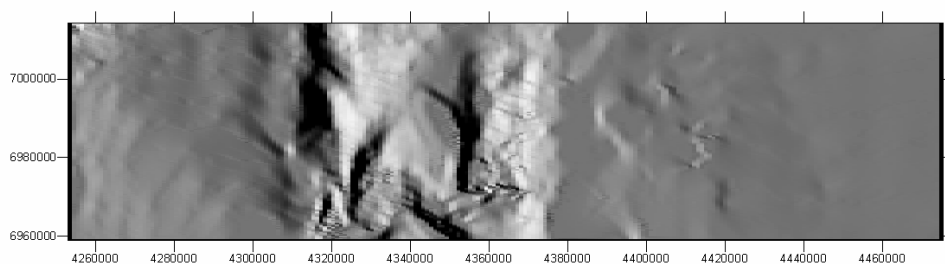


Figura 13-27

**Figura 13-28****Actividades a realizar**

Con los datos obtenidos durante el desarrollo de la guía n 4 Paralaje estereoscópica, calcule los valores x, y de los puntos en donde se midió paralaje.

Ingresa estos datos en una hoja de calculo (Excel), importe estos datos a Surfer y realice el calculo de un MDT.

Con sus palabras indique cuales serían los pasos necesarios para realizar un MDT a partir de Curvas de Nivel provistas por Cartas IGM.

¿Podrían realizarse modelos tridimensionales Subterráneos? Por ejemplo según su opinión, ¿podrían con la ayuda de estas técnicas realizarse un mapa tridimensional del movimiento de aguas subterráneas?

Con los datos provistos por el jefe de trabajos Prácticos calcule el volumen del embalse de Termas de Río Hondo, cuando el agua llega a su punto de cota máxima, (274 metros).