

Especificaciones para generación de curvas de nivel a partir de modelos digitales de terreno

Specifications for generation of contour from digital terrain models

LUIS A. HERNÁNDEZ R.

Fotogrametrista, Ingeniero Catastral, Especialista en Sistemas de Información Geográfica y Magíster en Geografía. Docente Asociado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. ahernandez@udistrital.edu.co

JENNY ANDREA PEÑA BARBOSA

Ingeniera Topográfica y Especialista en Planificación Regional. Investigadora de la Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. jenny_andrea01@hotmail.com

YULIANA NARVÁEZ GARCÍA

Ingeniera Topográfica. Ingeniera de CONSOL (Consorcio constructor de la Ruta del Sol). Bogotá, Colombia. yulianarvaez@yahoo.com

Clasificación del artículo: investigación (Recreaciones)

Fecha de recepción: agosto 30 de 2009

Fecha de aceptación: febrero 2 de 2010

Palabras clave: Modelo digital de terreno, Fotogrametría digital, Clasificación morfométrica, Modelo estereoscópico.

Key words: Digital terrain model, Digital photogrammetry, Morphometric classification, Estereoscopia model.

RESUMEN

Dos aspectos se consideran para el presente proyecto. Uno relacionado con la forma de obtener de manera ágil y moderna la altimetría del terreno que se está cartografiando, lo cual es determinado por el desarrollo de la técnica llamada fotogrametría digital. El otro aspecto es el tipo de relieve que deseamos representar.

Se propone una metodología estándar para la generación de curvas de nivel a partir de modelos digitales del terreno, partiendo de una clasificación de la morfometría que se hizo con base a características predominantes en el territorio colombiano,

para brindar al usuario un resultado óptimo con menores costos y tiempo en el proceso cartográfico a escala 1:25.000.

El producto o especificaciones estarán al servicio de las entidades que produzcan información cartográfica, que además podrán analizar los beneficios de los parámetros establecidos para su posterior utilización y aplicación en la ejecución de proyectos por realizar, relacionados con esta área.

ABSTRACT

Two aspects are considered for this project, one related to how to get so agile and modern altimetry

terrain that is mapping, which is determined by the development of the technique called digital photogrammetry and the other aspect is the kind of emphasize what we want to represent.

It proposes a standard methodology for generating contour from Digital Terrain Models, based on a ranking of the morphometry that has been made

based on characteristic features in Colombia to provide the user with optimum results with lower costs and time in the mapping at 1:25.000.

The specifications will be at the service of the entities that produce cartographic information that can analyze the benefits of the parameters set for further use and application in implementing projects related to this area.

* * *

1. Introducción

En Colombia actualmente se cuenta con equipos computacionales adecuados para el desarrollo cartográfico por métodos fotogramétricos, pero es evidente que aun en la nivelación de modelos estereoscópicos se continúan trazando o dibujando curvas de nivel, cuando los modelos digitales del terreno lo realizan en forma rápida y económica. Sin embargo, esto es entendible porque aun no se han definido criterios para utilizar esta base de forma interactiva con los programas destinados a este fin, de acuerdo con la escala y al tipo de relieve, para dar así una mayor precisión y rapidez a los trabajos cartográficos.

Es indispensable que el cartógrafo encargado de producir mapas bases a escala 1:25.000 tenga en cuenta las especificaciones que en este trabajo de investigación se presentan para que haya un rendimiento óptimo en la producción cartográfica, y más si se proporcionan parámetros concretos que faciliten al momento de capturar información de altimetría o curvas de nivel observar el tipo de relieve para la generación del modelo digital del terreno. El producto por desarrollar estará al servicio de las entidades que produzcan información cartográfica, las cuales podrán analizar los beneficios de los parámetros establecidos para su posterior utilización y aplicación en la ejecución de proyectos por realizar relacionados con esta área.

Actualmente en cartografía los modelos digitales del terreno se obtienen de una tecnología digital relativamente nueva, la cual está en constante desarrollo, y es necesario realizar estudios y procesos de investigación que aporten nuevos parámetros para el mejoramiento de esta aplicación en la fotogrametría, con el fin de obtener mejores resultados cartográficos.

Con el presente artículo se pretende generar una propuesta metodológica mediante el análisis de los procedimientos de captura usados actualmente, la cual considere una clasificación morfométrica del terreno y defina parámetros respecto a la densidad y características de la información requerida para la obtención de las curvas de nivel a partir de modelos digitales del terreno, y garantizar así una precisión altimétrica para la escala de cartografía 1:25000.

2. Metodología

Para la metodología del trabajo se definieron cuatro fases.

- *FASE I.* Recolección y análisis de la información.
- *FASE II.* Evaluación de la cartografía existente.
- *FASE III.* Restitución de modelos y generación de MDT.

- FASE IV. Evaluación y análisis de resultados.

2.1. Fase I. Recolección y análisis de la información

La población a la cual va dirigida la investigación es cartografía a escala 1: 25.000, teniendo en cuenta la variable relieve. Para el estudio que se realizará se tomarán muestras que son modelos estereoscópicos y su correspondiente cartografía a escala 1:25000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Los datos se recolectarán a partir de fotografías aéreas a escala 1:30.000 y 1: 40.000, considerando la clasificación geomorfológica que se genere para ser analizadas estadísticamente.

2.1.1. Estudio y selección de la información recolectada

Se evaluaron 21 modelos estereoscópicos a las escalas señaladas anteriormente con el fin de hacer la mas adecuada selección de las muestras, con base en un estudio exhaustivo donde predominó en el factor principal de la investigación cuál es la morfometría del terreno.

Los criterios que se tuvieron en cuenta para la selección de la muestra por evaluar fueron:

1. Que las zonas contaran con una amplia variedad de geoformas que detallaran la suficiente

información en la parte morfométrica, para efectos del desarrollo del proyecto. En este primer ítem se hizo una selección exhaustiva de zonas con geoformas representativas, lo cual se ilustra en la tabla 1.

2. Que la calidad de las fotografías digitalizadas fuera la adecuada y cumpliera con los requerimientos de precisión para obtener óptimos resultados.
3. Que se facilitara la determinación de la georreferenciación de la zona.
4. Que la cartografía tuviera información completa del área por trabajar.

Tabla 1. Clasificación morfométrica del relieve.

FORMA DE LAS PENDIENTES		LONGITUD DE LAS PENDIENTES		FORMA DE LAS CUMBRES		NIVELES DE TERRAZA EN ZONAS PLANAS	
CÓDIGO	CLASE	CÓDIGO	CLASE	CÓDIGO	CLASE	CÓDIGO	CLASE
R	Recta	1	Corta	A	Aguda	i	Hístor
C	Convexa	2	Media	D	Redondeada	m	Medio
V	Cóncava	3	Larga	P	Planas (tabular)	s	Superior
X	Compleja			R	Redondeadas		

CLASIFICACIÓN	GRADO		DESCRIPCIÓN	FORMAS DE LAS PENDIENTES	LONGITUD DE LAS PENDIENTES	FORMAS DE LAS CUMBRES	NIVELES DE TERRAZA EN ZONAS PLANAS	
	CÓDIGO	RANGO					CÓDIGO	CLASE
P	Planicie	a	0-3%	Plano			Lims	
		b	3-7%				Ligeramente inclinado	Lims
O	Ondulado	c	7-12%	Moderadamente inclinado	RC,VX	1,2,3	AD,PR	
C	Colinado	d	12-25%	Fuertemente inclinado	RC,VX	1,2,3	AD,PR	
L	Lomerío	e	25-50%	Fuertemente quebrado	RC,VX	1,2,3	AD,PR	
L	Lomerío	f	50-75%	Escarpado	RC,VX	1,2,3	AD,PR	
M	Montañoso	g	>75%	Muy escarpado	RC,VX	1,2,3	AD,PR	

Tabla 2. Selección de los tipos de relieve y espaciamientos de grilla por trabajar.

Clasificación		Grado		Descripción	Modelo trabajados	Espaciamiento en grilla trabajadas
Código	Clase	Código	Rango			
P	Planicies	a	0-3%	Plano	Mondoñedo y Neusa	Cada 25, 50, 80 y 100 metros para todos los modelos.
O	Ondulado	c	7-12%	Moderadamente inclinado	Mondoñedo, Neusa, Sutatausa	
C	Colinado	d	12-25%	Fuertemente inclinado	Mondoñedo, Neusa, Sutatausa	
C	Colinado	e	25-50%	Fuertemente quebrado	Dos zonas de Mondoñedo	
L	Lomerío	f	50-75%	Escarpado	Neusa, Sutatausa	
M	Montañoso	g	>75%	Muy escarpado	Neusa, Sutatausa	

2.2. Fase II. Evaluación de la cartografía existente

La cartografía en la zona de estudio es la siguiente:

- Vuelo fotográfico C-2584
fotos 091-092
plancha 227-IV-C 1:25.000
- Vuelo fotográfico C-2612
fotos 144-145
plancha 209-I-B 1:25.000
- Vuelo fotográfico C-2523
fotos 206-207
plancha 209-III-A 1:25.000

2.3. Fase III. Restitución de modelos y generación de mdt

Los datos de la cámara del punto de mejor simetría, la distancia focal, las marcas fiduciales, la distorsión de la lente y puntos de control para cada uno de los modelos son los mismos que se ingresaron en el *software* Z/I y se relacionan los parámetros ingresados en Virtuozo y los resultados obtenidos para cada uno de los modelos en los procesos descritos anteriormente hasta la producción del modelo digital del terreno.

2.3.1. Exportación de información a programas cad

Los dos programas utilizados para la creación y comparación de superficies fueron Microstation, módulo Inroads y Autocad Land, los cuales permiten una visualización interactiva de modelos en 3D y superposición de superficies para realizar análisis comparativos. Se importó a Microstation la información creada en Virtuozo (grillas a diferentes espaciamentos formato ascii), para su confrontación con la información generada en Z/I modelo de referencia y la vectorización hecha en Microstation Descartes, ambos en formato dgn.

La metodología para la comparación consiste en que para cada una de las áreas representativas de los diferentes relieves se consideraron las zonas con clasificaciones existentes donde se seleccionaron dichas zonas de acuerdo con los rangos de pendiente. Para cada una de estas descripciones se definieron tramos, algunos con seccionamiento transversal de tal forma que se generen perfiles donde se compara la información altimétrica, tanto de las superficies de referencia, como de las superficies correspondientes a la nivelación producida por los diferentes espaciamientos de las grillas trabajadas y determinadas con antelación. Se habla de tramos porque en un mismo modelo puede haber varias zonas que determinan tramos aparte, pero que se analizan en conjunto estadísticamente sus diferencias mediante su error medio cuadrático teniendo en cuenta que están dentro del mismo rango de pendiente.

3. Resultados

En la fase IV se hace la comparación entre los modelos digitales del terreno generados a partir del programa Z/I imaging en cada una de las tres zonas y los modelos digitales del terreno generados por Virtuozo; inicialmente para cada una de las pendientes y posteriormente entre superficies para cada tipo de grilla.

3.1. Generación y comparación de los mapas de pendientes

Se realizó el análisis de los modelos digitales de terreno de referencia elaborados en Z/I imaging, generando los denominados mapas de pendientes mediante los programas MicroStation y Autocad Land.

Gracias a las múltiples herramientas que poseen ambos programas se hace sencilla la generación de estos mapas, a partir del modelo TIN, para compararlos posteriormente con la clasificación obtenida a través de fotogrametría convencional. De dicho análisis se destaca que los parámetros de

pendientes y las áreas de clasificación demarcadas se ajustan de forma adecuada a los mapas arrojados por el programa, corroborando que las zonas seleccionadas cumplen con los parámetros de pendiente definidos para este proyecto.

3.2. Comparación mediante perfiles y secciones transversales

Para poder realizar la comparación de los modelos digitales de terreno se generaron perfiles mediante la utilización de los programas CAD anteriormente mencionados. Para visualizar con claridad dónde se encuentran las mayores discrepancias de altitud se generaron cuadros estadísticos que reflejan los errores de los resultados del cálculo de dichos mapas.

3.3. Estimación del error de los modelos digitales del terreno generados

Para hacer la estimación del error cometido en cada uno de los MDT generados se calculó el error cuadrático medio (RMS), tomando como valores de referencia los (MDT) generados en el *software* Z/I con una red puntos, repartidos por toda la zona de estudio. De estos puntos se conoce el atributo de cota, que va a servir para comparar la desviación de cada uno de sus puntos homólogos en los MDT a diferentes espaciamentos de grilla generados en Virtuozo. Dada la gran cantidad de puntos digitalizados, se ha tomado una muestra representativa de éstos, considerándose finalmente en el cálculo los siguientes datos por clasificación morfométrica (teniendo en cuenta que por cada parámetro de clasificación se tomaron dos y tres muestras comparativas, las cuales se trabajaron para todas las grillas). (ver tabla 3)

Tabla 3. Clasificación y muestra tomada para evaluar el error según el tipo de relieve.

CLASIFICACIÓN		GRADO		MUESTRA
CÓDIGO	CLASE	CÓDIGO	RANGO	
P	Planicies	a	0-3%	210 PTOS
O	Ondulado	c	7-12%	60 PTOS
C	Colinado	d	12-25%	340 PTOS
C	Colinado	e	25-50%	700 PTOS
L	Lomerío	f	50-75%	40 PTOS

De igual forma, para realizar la comparación entre la cartografía existente y los MDT de referencia, dada la gran cantidad de puntos digitalizados, se han tomado muestras representativas de estos a partir de perfiles y secciones transversales, considerándose finalmente en el cálculo los siguientes datos de la tabla 4.

Tabla 4. Muestra tomada para evaluar el error de los modelos de referencia.

MODELO	MUESTRA
Mondoñedo	605 Ptos.
Neusa	360 Ptos.
Sutatausa	903 Ptos.

En la tabla 5 se hace un resumen de los errores en los determinados parámetros de pendiente para cada uno de los modelos, donde los valores resaltados corresponden al error más bajo.

Tabla 5. Muestra tomada para evaluar el error de los modelos de referencia.

CLASIFICACIÓN		GRADO		ERROR MEDIO CUADRÁTICO											
CÓDIGO	CLASE	CÓDIGO	RANGO	NEUSA				SUTATAUSA				MONDOÑEDO			
				GRILLA 25	GRILLA 50	GRILLA 80	GRILLA 100	GRILLA 25	GRILLA 50	GRILLA 80	GRILLA 100	GRILLA 25	GRILLA 50	GRILLA 80	GRILLA 100
P	Planicies	a	0-3%	6.755	6.572	5.868	5.538					6.550	6.640	6.500	5.990
O	Ondulado	c	7-12%	4.310	5.693	4.960	4.940	4.335	3.137	4.020	4.655	7.360	7.290	7.580	7.740
C	Colinado	d	12-25%	4.230	4.307	4.059	4.393	4.804	4.908	4.623	4.315	6.990	7.310	7.390	7.340
C	Colinado	e	25-50%									8.490	9.150	9.470	10.020
L	Lomerío	f	50-75%	7.253	7.296	6.052	8.003	6.141	5.784	7.070	7.582	6.870	6.690	7.040	7.230
M	Montañoso	g	>75%	5.747	6.018	7.056	6.249	7.974	7.947	7.799	7.935				

3.4. Diferencias según tipo de relieve para cada grilla

Para analizar el comportamiento de los errores para cada grilla según tipo de pendiente se han creado las siguientes gráficas:

En la figura 1 se hace la comparación entre Mondoñedo y Neusa porque en solo esos modelos hay planicies. Tras la observación del gráfico anterior, se puede ver que todos cumplen los requerimientos de precisión altimétrica estipulada en la norma nacional.

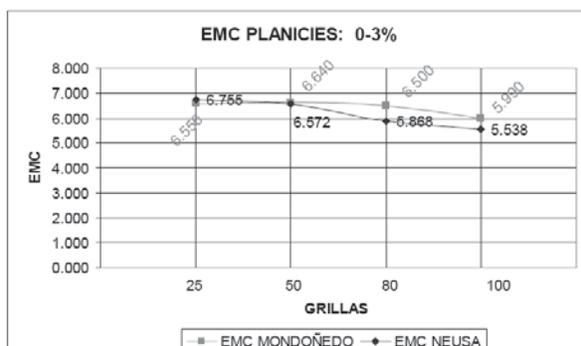


Figura 1. Comparación de errores generados para planicies entre los modelos de Mondoñedo y Neusa.

Cabe anotar que esta muestra contiene datos correspondientes al rango de pendiente del 7 al 12%, ya que este está incluido dentro de la clasificación de planicies. Partiendo de la premisa de que el principal propósito del presente estudio es la optimización de los recursos (tiempo), se define que la grilla con espaciamiento cada 100 metros cumple con los requerimientos de precisión y es la recomendada al momento de la captura.

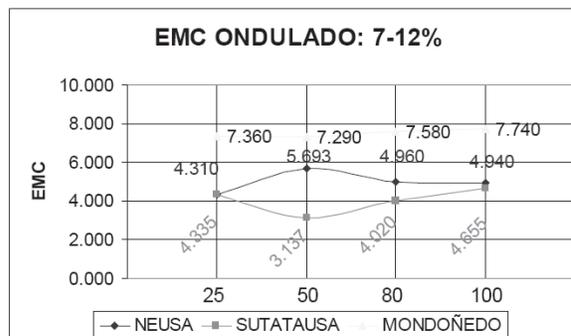


Figura 2. Comparación de errores generados para terrenos ondulados de los modelos de Neusa, Sutatausa y Mondoñedo.

En la figura 2 se observa que la muestra de Mondoñedo, aunque fue la más representativa por la cantidad de datos analizados, es la que presenta el error medio cuadrático más grande. Aunque se puede hablar de que es un valor constante, los rangos están entre 7.36m. y 7.74m., y se encuentra que las grillas de 80 y 100m. de espaciamiento no cumplen la norma al estar por encima del valor admitido en la resolución en mención.

Teniendo en cuenta el anterior análisis, se decidió que la grilla correspondiente a un espaciamiento de 80 metros es la recomendada porque en los modelos de Neusa y Sutatausa cumplen con la norma. El dato presentado en Mondoñedo sobrepasa la precisión requerida por una mínima diferencia y hay que tener en cuenta que este error se puede presentar si alguno de los datos conseguidos no está al piso, podría tender a la obtención de un resultado más alto.

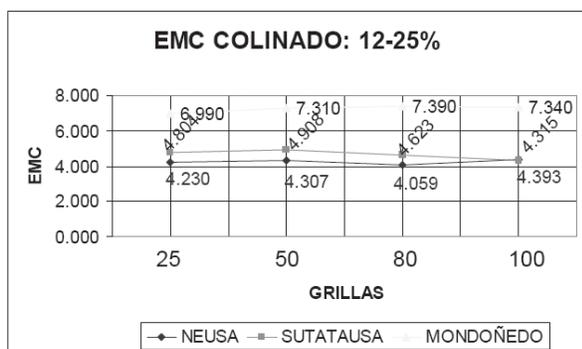


Figura 3. Comparación de los errores generados para terreno colinado (12-25%) entre los modelos de Mondoñedo, Neusa y Sutatausa.

En la figura 3 se puede observar que el patrón de comportamiento de cada una de las muestras es constante. Aunque ninguno de los valores de los errores por cada modelo se asemejen entre sí, todos los errores se encuentran dentro de los rangos de precisión requeridos, y presentan un comportamiento lineal para las tres zonas; se deduce que la tendencia de los errores para cada modelo es constante y las diferencias entre la grilla 25m. y la grilla 100m. no es significativa. Por consiguiente, esta última es la recomendada.

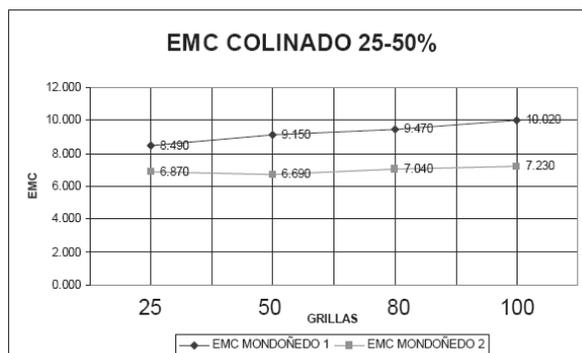


Figura 4. Comparación de los errores generados para terreno colinado (25-50%) entre dos zonas del modelo de Mondoñedo.

Para el análisis de un terreno colinado fuertemente quebrado con pendientes entre 25-50%, señalado en la figura 4, se observaron zonas solo en el modelo de Mondoñedo porque en los otros dos modelos no hay, por lo que se compararon dos zonas.

Observando los resultados se determinó que para zonas con características particulares como vegetación densa de gran altura se recomienda trabajar una grilla cada 50m.; para zonas con características menos complejas se recomienda trabajar una grilla con espaciamiento cada 80m.

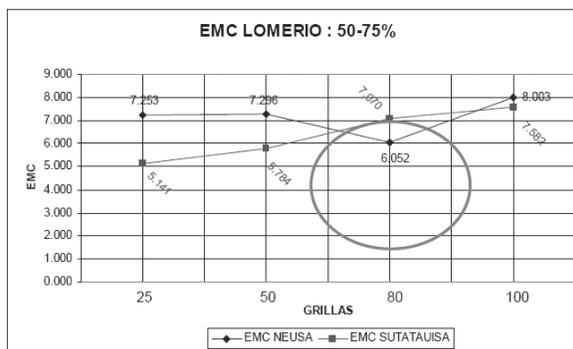


Figura 5. Comparación de los errores generados para relieve tipolomerío entre los modelos de Neusa y Sutatausa.

En la figura 5 se trabajan los modelos de Neusa y Sutatausa porque para este rango de pendientes las zonas estaban solo en estos dos modelos. Para la pendiente correspondiente al 50-75% se denota un comportamiento constante, excepto en la zona demarcada que pudo presentar error por la dificultad en la captura debido al contraste de la fotografía (en este caso en particular). La mayoría de los resultados cumple con la precisión de la resolución, excepto la grilla 100, la cual se descartaría.

Analizando los resultados ilustrados en la figura 5 se determinó que la grilla recomendada debe ser la correspondiente a un espaciamiento entre puntos de 80m., ya que independiente del comportamiento observado en ambos casos cumple con los requerimientos de precisión.

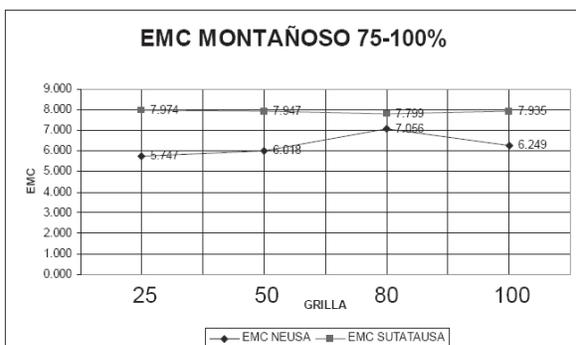


Figura 6. Comparación de los errores generados para terreno montañoso entre los modelos de Neusa y Sutatausa.

También para este rango de pendiente señalado en la figura 6 están solo los modelos de Neusa y Sutatausa. Para la pendiente entre el 75-100% se denota un comportamiento lineal constante, aunque con valores altos para la muestra del sector de Sutatausa, los cuales se salen del rango de precisión admitido según la resolución 064 de 1994. Esto pudo presentarse debido a la dificultad en la captura por el contraste de la fotografía y áreas con nubes. Para la muestra correspondiente al sector de Neusa se observa que todos los valores de error en altitud están dentro de los parámetros de precisión establecidos, y el de menor valor es el correspondiente a la grilla 25. No obstante, la grilla con espaciamiento de 50m. es la recomendada por el tipo de terreno, ya que cumple con las normas establecidas.

3.5. Especificaciones

Las especificaciones propuestas se muestran en la figura 7.

4. Conclusiones

Para la realización del trabajo de generación de curvas de nivel para cartografía a escala 1:25.000, a partir de modelos digitales del terreno, se comprobó que para garantizar la precisión en la representación de curvas de nivel o nivelación del terreno las distancias en las grillas regulares cambian en función de la orografía; sin embargo, se observó que los cambios no se dan en forma sistemática, sino que las características del terreno obligan a tener en cuenta otras consideraciones, además el modelo digital de elevación es apenas una parte para garantizar la precisión del resultado final.

Los métodos y técnicas para la captura de información condicionan la precisión y la calidad del modelo digital del terreno generado. En el presente estudio se ensayaron varios de estos métodos y se analizaron las diferencias fundamentales obtenidas. Los métodos interactivos o de participación directa del cartógrafo para la generación de los modelos digitales de elevación son tan precisos como los realizados por procesos automáticos; sin embargo,

EVALUACIÓN DEL MODELO	CLASIFICACIÓN		GRADO		CAPTURA DE INFORMACIÓN		PRECISIÓN: RESOLUCIÓN No. 64 DE 1994
	CÓDIGO	CLASE	CÓDIGO	RANGO	GRILLA RECOMENDADA		
					ELEMENTOS DETERMINANTES DE LAS GEOFORMAS DEL TERRENO: Líneas de quiebre, puntos característicos, curvas de geoforma etc.)		
P	Planicies	a	0-3%	100 m		ELEMENTOS DETERMINANTES DE LAS GEOFORMAS DEL TERRENO: Líneas de quiebre, puntos característicos, curvas de geoforma etc.)	
		b	3-7%	100 m			
O	Ondulado	c	7-12%	80 m			
C L	Colinado Lomerío	d	12-25%	100 m			
		e	25-50%	25 m: características particulares (vegetación densa de gran altura)			
80 m: características menos complejas							
C L	Colinado Lomerío	f	50-75%	80 m			
				M	Montañoso		g

Figura 7. Especificaciones técnicas para la generación de curvas de nivel para mapas a escala 1:25.000, empleando modelos digitales del terreno.

estos últimos son mucho más rápidos a pesar del mayor trabajo de edición, lo que determina un beneficio económico directo.

La determinación de curvas de nivel a partir de modelos digitales de elevación requiere de otros datos o elementos que son básicos, como son las líneas de quiebre o de cambios de pendiente, los puntos característicos y las líneas o curvas de geoformas, además de los elementos planimétricos que se restituyen a ras del terreno, como los datos hidrográficos que son elementos determinantes en la generación del relieve.

El mayor tiempo de edición y revisión de los datos se empleó en las zonas de vegetación densa, zonas de poco contraste y en zonas de nubosidad. La precisión del modelo digital del terreno depende también de una serie de parámetros implicados

en su generación, que incluyen, además de las características orográficas de la zona, los datos topográficos o geodésicos fuente y la calibración de los equipos empleados.

Al realizar la captura y una cuidadosa edición de los modelos se pudo observar un comportamiento patrón para cada tipo de pendiente, y se consiguió determinar un estándar para la captura de datos, con el fin de optimizar los recursos y a la vez logrando un producto confiable.

Finalmente, se concluye que resulta de utilidad comprender y hacer uso de programas que, en forma automática, realizan labores que evitan el trabajo prolongado y dispendioso por parte del operador, sin excluir la necesaria participación del especialista en el análisis, evaluación y edición de los resultados obtenidos.

Referencias bibliográficas

- | | |
|---|---|
| <p>[1] H. Villota, <i>Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras</i>, Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1991.</p> | <p>[4] Bentley Systems Corp, “User Guide MicroStation”. [En línea]. Disponible: http://es.scribd.com/doc/24412658/Guide-MicroStation-V7-1</p> |
| <p>[2] F. Ariza, “Normas sobre calidad en información geográfica”. [En línea]. Disponible: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1457.</p> | <p>[5] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, “Resolucion 064 de 1994”. [En línea]. Disponible: www2.igac.gov.co:8080/igac_web/...files/.../LPLIEGO070004(2)B.doc</p> |
| <p>[3] Instituto Geográfico Agustín Codazzi., “Evaluación de la calidad de la información geográfica”, Informe de Gestión, 2005.</p> | <p>[6] P. Wolf, B. Dewit, <i>Elements of Photogrammetry and Applications in GIS</i>, Estados Unidos: McGraw-Hill, 2000.</p> |