

EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN CON FINES HIDROLÓGICOS: APLICACIÓN EN UNA CUENCA ANDINA DE MONTAÑA

Evaluation of interpolation methods in the construction of a digital model of elevation with hydrological ends: application in an Andean watershed of mountain

Carlos E. Pacheco A. y Alex G. Barrios R.

Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (CEFAP), Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes. E-Mail: carlosa@ula.ve y alexb@ula.ve

RESUMEN

El objetivo del estudio es evaluar, en una cuenca de montaña tropical, los métodos de interpolación disponibles para la construcción de un modelo digital de elevación (MDE) con fines hidrológicos: red de triángulos irregulares (TIN), interpolación lineal (INTERCON), ponderación por el inverso de la distancia (IDW), kriging, spline (regularizado y con tensión). Con tal fin se utilizaron curvas de nivel con equidistancia de 40 metros, digitalizadas a escala 1:100.000. La evaluación de la calidad de los MDE consistió, por un lado, en la determinación estadística de la raíz del error medio cuadrático (REMC) y la comparación visual de las curvas de nivel construidas a partir de los MDE generados, con las curvas originales digitalizadas cada 40 metros de equidistancia; por otro lado, en la evaluación hidrológica mediante un análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica (área, pendiente media y longitud de cauce), además de una comparación visual de la redes de drenaje y divisorias, derivadas de los MDE generados, con aquellas digitalizada del mapa original.

Los resultados indican que la magnitud del error entre métodos de interpolación no es alta, excepto para el método IDW, donde hubo una diferencia significativa; corroborado visualmente al confrontarse las curvas de nivel digitalizadas del mapa original con aquellas derivadas de cada MDE construido. Los resultados morfométricos indican, por su parte, que todos los métodos arrojaron valores similares a los determinados del mapa digitalizado, excepto el IDW donde hubo marcada diferencia, tanto en la red de drenaje como en la divisoria. Tales resultados permiten concluir que cualquiera de los métodos de interpolación evaluado puede ser utilizado para generar un MDE en cuencas de montaña con propósitos hidrológicos, excepto el método IDW debido a la magnitud del error obtenido.

Palabras clave: Método de interpolación, modelos digitales de elevación (MDE), sistemas de información geográfica (SIG), morfometría de cuencas

ABSTRACT

The aim of the current research is to evaluate, in a tropical mountain watershed, the interpolation methods available for the building of a digital elevation model (DEM) with hydrological purpose: triangulated irregular network (TIN), linear interpolation (INTERCON), inverse distance weighted (IDW), kriging, spline (regularized and tension). For that purpose were used contours with a equidistance of 40 meters, and digitalize on scale of 1:100.000. the quality evaluation of the DEM consisted on, first the determination of the statistic of the root mean quadratic error (RMQE) and the visual compararison of contours built from the generated DEM, with the original digitalize curves from each 40 meters of equidistance.

On the other hand, it was used hydrological evaluation through a morphometric analysis of the hydrographic watershed (area, slope mean and length of river), beside that a visual comparison of drainage and dividing nets derive from the generated DEM with digitalize on the original map.

The results reveals that the error magnitude among the interpolation methods is not higher, except for the IDW method, where appears a significative difference, visually supported when it was confronted with contours from the original map with those derive from each one of DEM built.

The morphometric results indicate that each one of the methods show similar values of the digitalize map, except the IDW where it was a remarkable difference as much as on the drainage net as on the divide. Such results allow to conclude that any interpolation method evaluated can be used in order to generate a mountain watershed DEM with hydrological purposes, except the IDW method because of the magnitude error obtained.

Key words: Interpolation method, digital elevation methods (DEM), geographic information system (GIS), watershed morphology

INTRODUCCIÓN

Todavía, hasta el presente, uno de los procedimientos más utilizados para la construcción de los modelos digitales de elevación (MDE) sigue siendo las curvas digitalizadas mediante alguna técnica de

interpolación. Aunque la literatura señala distintas categorías de métodos de interpolación (Sarkozy (1998), por ejemplo, los divide en geométricos, estadísticos, funciones matemáticas de base y redes neurales artificiales) los de mayor aplicación son aquellos disponibles en los programas manejadores

de sistemas de información geográfica (SIG) del mercado (TIN, INTERCON, IDW, kriging y spline):

TIN (red de triángulos irregulares), es un método geométrico incluido en la mayoría de los programas SIG (ArcView / ArcInfo, IDRISI, GRASS y Surfer, entre otros), basado en una red irregular de triángulos que conforman sucesivos planos, sobre los cuales, mediante interpolación lineal, se determina la cota de cualquier punto interno en cada triángulo.

INTERCON es un método exclusivo de IDRISI, que a partir de puntos acotados siguiendo curvas de nivel, interpola linealmente la cota de puntos arreglados en el modelo raster.

Spline, regularizado y con tensión, ajusta matemáticamente un plano continuo de mínima curvatura a partir de puntos dispersos acotados. Mitsova *et al.* (2000), desarrollaron e implementaron esta técnica en el programa GRASS, el cual ha sido utilizada en diversos modelamientos hidrológicos. Spline esta disponible en la mayoría de los programas SIG.

Kriging, se basa en una función estadística que mide la variabilidad (variograma) como instrumento de representación esquemática de la variedad espacial.

IDW (ponderación por el inverso de la distancia), método donde el peso es un valor inversamente proporcional a la distancia entre cada punto muestral considerado y el no muestral, al cual se le determinan las alturas.

Diversos autores tales como: Alcalá (1997), Carvacho y Sánchez (1997), Vélchez (2000), Aguilar *et al.* (2002), entre otros, han evaluado comparativamente uno o más de estos métodos de interpolación para derivar modelos digitales del terreno desde curvas de nivel digitalizada.

En el presente trabajo, a diferencia de los anteriores, se plantea evaluar comparativamente los métodos de interpolación en el contexto del modelado hidrológico y considerando una topografía de cuenca de montaña, donde se esperaría un mejor desempeño de los MDE generados, habida cuenta de que se tiene mejor definida la dirección del flujo de agua. Si los distintos métodos de interpolación tienen el mismo desempeño, o alguno tiene supremacía sobre los demás, son las interrogantes que aborda el presente trabajo y que se esperan despejar.

MATERIALES

Área de estudio

Se seleccionó la cuenca del río Mucujún, localizada al noroeste de Venezuela, con una superficie aproximada de 190.93 km² (Figura 1). La cuenca se encuentra en la parte central de las montañas de Mérida, extendiéndose desde la desembocadura del río Chama, en las cercanías de la ciudad de Mérida, a 1.400 m.s.n.m., hasta su nacimiento a 7,75 km, aguas arriba, a 4.400 m.s.n.m.. Geográficamente se encuentra ubicada entre la Latitud 8° 35' 39" y 8° 49' 27" Norte, y la Longitud 70° 58' 30" y 71° 09' 45" Oeste.

MÉTODOS

Se utilizaron curvas de nivel digitalizadas en pantalla cada 40 metros de equidistancia y a escala 1:100.000. Del archivo inicial producto de la digitalización se obtuvo un archivo independiente con curvas separadas cada 800 metros de equidistancia (1200, 2000, 2800, 3600 y 4400 m.s.n.m.), las cuales se constituyen en los puntos de control para evaluar estadísticamente los MDE a construir. Al archivo inicial se le suprimieron las curvas anteriores y es el utilizado para la construcción de los MDE mediante los diferentes métodos de interpolación. Antes de construir y evaluar los MDE se aplicó una reducción de vértices en los dos archivos con curvas de nivel, lo que originó 51.781 puntos acotados para construir los MDE y 2.720 puntos acotados de control.

Se aplicaron dos enfoques de evaluación: altimétrico y morfométrico. Con el enfoque altimétrico se utilizaron dos criterios: uno estadístico, mediante el cálculo de la raíz del error medio cuadrático (REMC); y otro visual, mediante la comparación de las curvas de nivel derivadas de cada MDE con las curvas de nivel digitalizadas. El primero se define como:

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Z_i - Z'_i)^2}{N}} \quad (1)$$

donde: Z_i , es la cota en un punto i de control (de coordenadas x,y); Z'_i , es la cota, correspondiente al mismo punto i , obtenida del MDE generado; y N es el número de puntos de control.

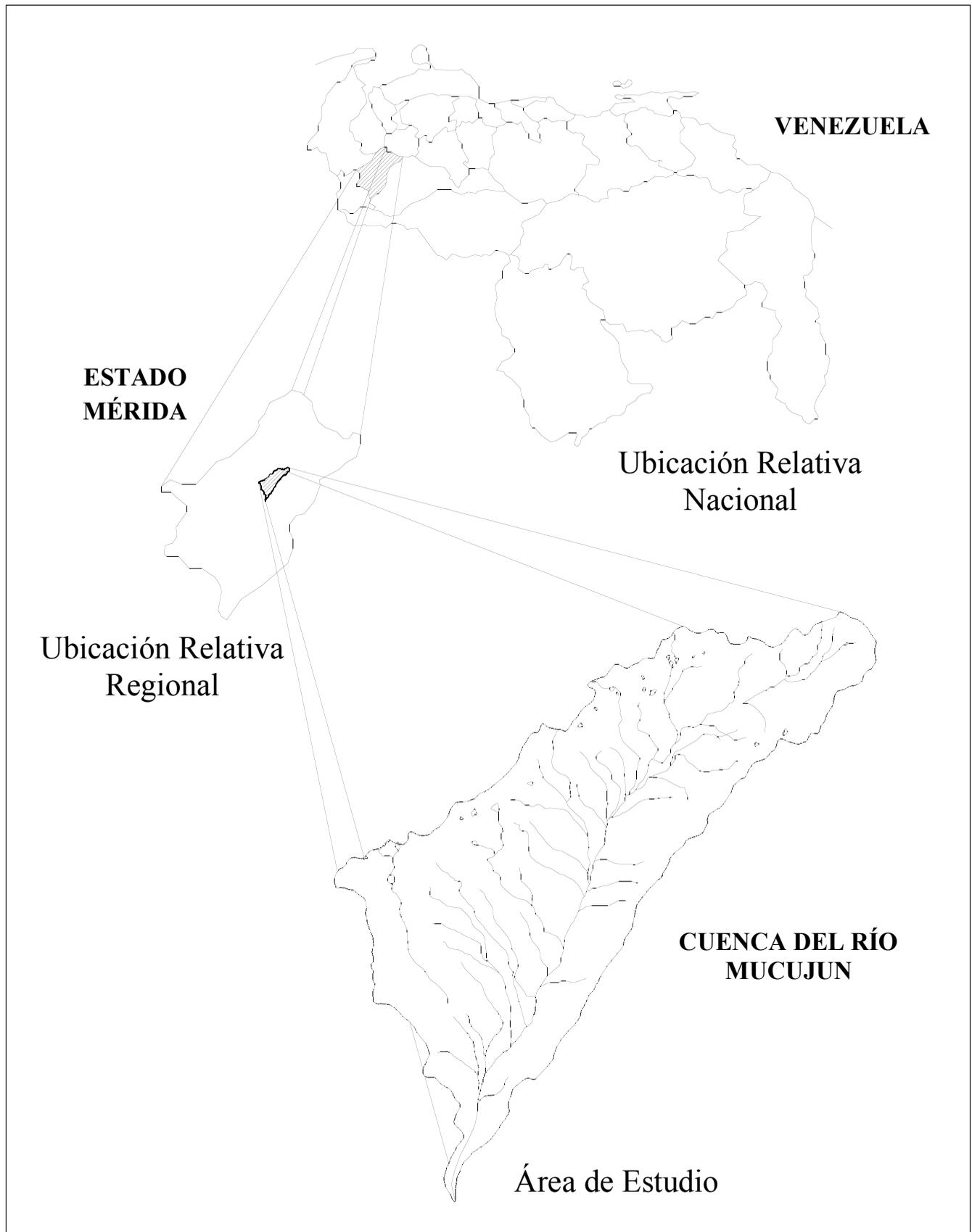


Figura 1. Ubicación relativa nacional y regional del área de estudio

El enfoque morfométrico (Figura 2) se basó en una delimitación automatizada de la cuenca y subcuencas a partir de cada MDE generado, incluyendo la derivación sintética de la red de drenaje, y la posterior medición de parámetros como área, pendiente media y longitud de cauces, cuyos

valores se compararon con los que se obtuvieron del mapa original. Adicionalmente, un segundo criterio consistió en la comparación visual de la red de drenaje y divisoria generada de cada MDE con aquellas digitalizadas del mapa original.

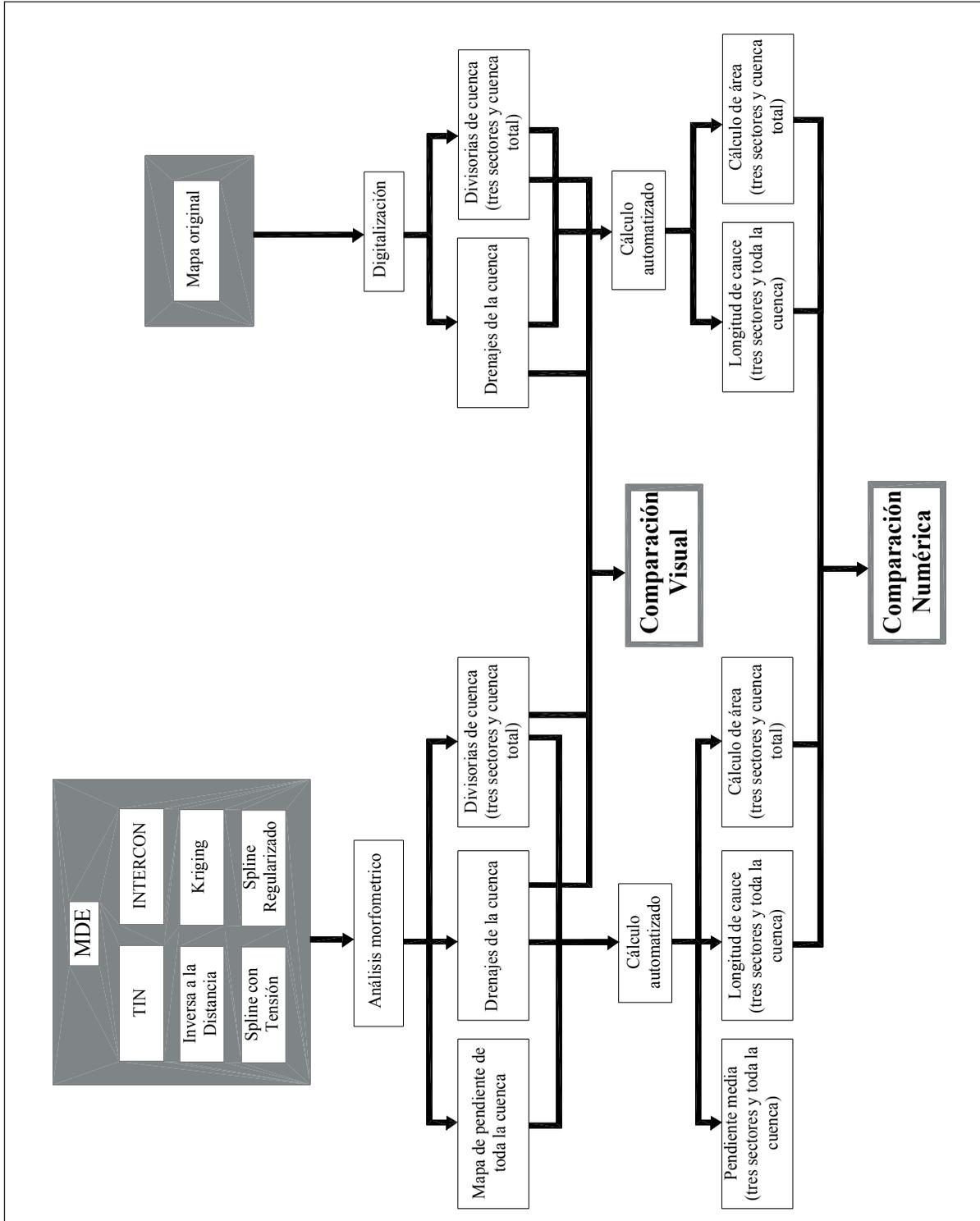


Figura 2. Criterios hidrológicos para comparar los métodos de interpolación

MATERIALES Y EQUIPOS

Cartas cartográficas del Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVSB) a escalas 1/100.000 (hojas 5941, 5942, 6041 y 6042).

Software básico: IDRISI 32, Sufer 8, TNT Mips 6.6, AtuoCad Map 2000i, EZYsurf, ArcView 3.2 y las rutinas Compiled Theme Tools (Herbold, 2003), gridstack (Buja, 2003) y CRWR-PrePro (Olivera, 1999).

Hardware utilizado: PC Pentium Intel de 400 MHz, bajo Windows 2000, con 1 Gb en RAM y 80 Gb en disco duro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 3(a) se muestra el estadístico REMC calculado para cada MDE generado, observándose valores entre 18.56 m 37.33 m, siendo los “Spline” (con tensión y regularizados) los métodos con menores errores (menos de 20 m). Kriging, TIN e INTERCON produjeron errores entre 20 y 30 m, e IDW uno mayor a 30 m. En la Figura 3(b), se muestra la comparación visual entre las curvas digitalizadas del mapa original y las curvas generadas con cada MDE. Se observa, en orden de mayor a menor similitud,

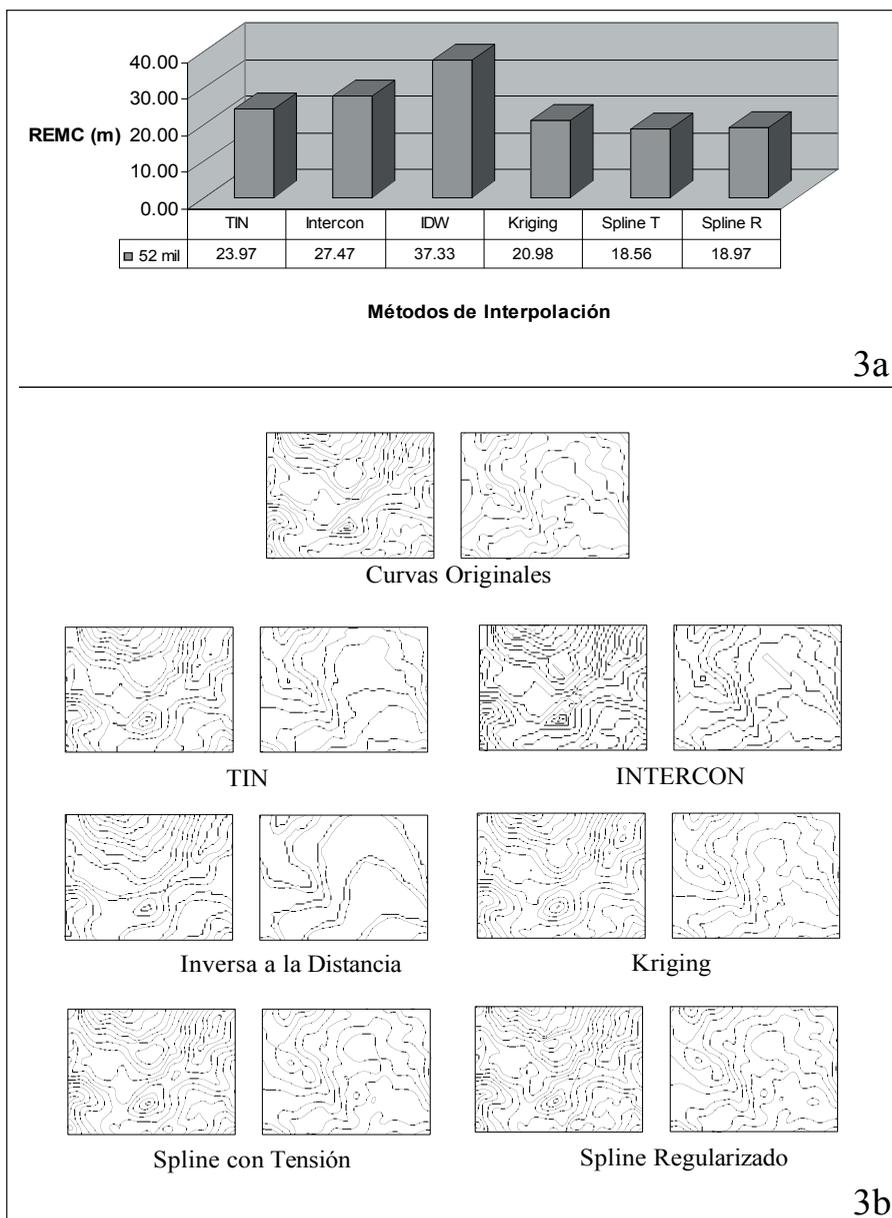


Figura 3. Resultados de la generación de los MDE: raíz del error medio cuadrático, REMC (3a); curvas de nivel cada 40 metros derivadas de los diferentes MDE (3b)

que las curvas más parecidas a las originales son las obtenidas mediante kriging, seguido por spline con tensión y spline regularizado, estando en un tercer orden TIN (a pesar de tener mucha similitud en las curvas ubicadas en el cuadro izquierdo, las del cuadro derecho no tienen tanta semejanza), en cuarto lugar INTERCON, y por último, en quinto lugar, IDW con muy escasa semejanza.

Desde el punto de vista de la morfometría de cuencas y subcuencas, en el Cuadro 1 se observa que en términos generales con todos los MDE generados se obtienen valores similares. La diferencia más

notoria estuvo en el cálculo de la pendientes medias de la cuenca y subcuencas: mientras que la pendiente media de la cuenca varió entre 37.3% y 39.6% con los MDE de los demás métodos, con el correspondiente al método IDW se produjo una pendiente media de 30.8 %. No se produjeron diferencias notables entre métodos en el cálculo de la superficie de la cuenca (variación entre 188.5 y 196.1 km²), ni en la longitud de drenajes (200 a 206 km).

Visualmente, al compararse la redes de drenaje de la cuenca derivadas de cada MDE con la red digitalizada (Figura 4), se tienen resultados

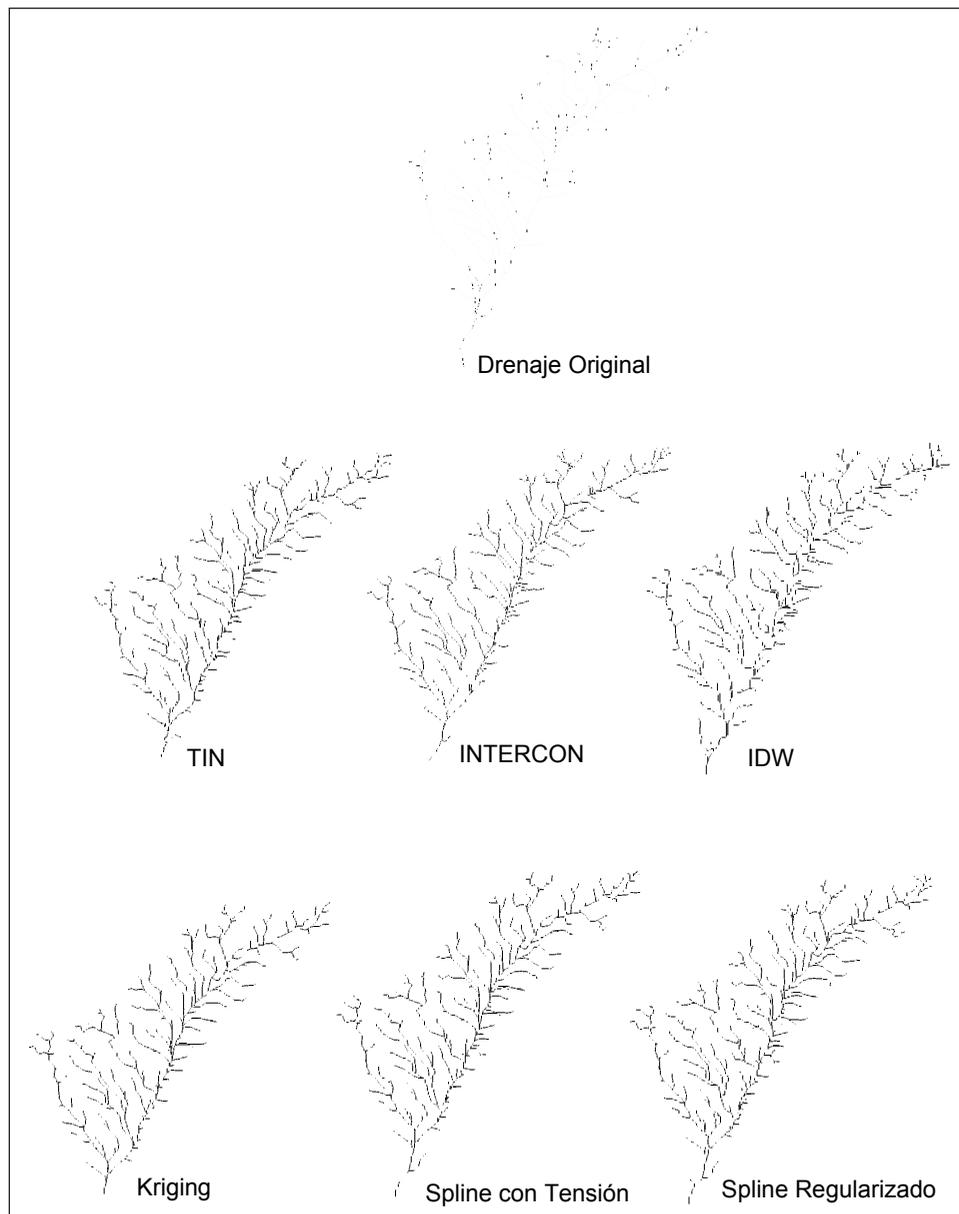


Figura 4. Red de drenaje digitalizada y generada mediante los diversos MDE.

similares. No obstante, un análisis detallado sobre dos sectores de la cuenca (Figura 5) permite observar ciertas discrepancias entre las redes generadas, recayendo las mayores diferencias en la red derivada del MDE calculado con el método

IDW. Igual observación se tiene de las divisorias de cuenca derivadas de manera automática a partir de los MDE (Figura 6).

En conclusión, existen diferencias entre los métodos de interpolación utilizados para la gene-

Cuadro 1. Parámetros morfométricos de la cuenca y subcuencas obtenidos de los MDE generados con diferentes métodos de interpolación.

Métodos de Interpolación	Área (Km ²)				Pendiente Media (%)				Longitud de Cauce (Kilómetros)			
	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Cuenca	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Cuenca	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Cuenca
Cuenca Digitalizada	68.35	65.75	56.82	190.92	–	–	–	–	70.94	67.59	64.58	203.11
TIN	62.09	71.30	55.90	189.29	36.95	38.68	35.75	37.25	65.34	78.49	57.43	201.26
INTERCON	65.07	71.23	55.39	191.69	36.85	39.57	36.16	37.67	73.84	77.85	53.75	205.43
IDW	77.22	64.53	54.39	196.14	30.60	33.45	28.37	30.79	94.33	59.33	51.86	205.51
Kriging	65.51	65.92	57.04	188.47	36.93	39.44	35.91	37.50	67.61	74.49	57.78	199.88
SplineT	64.51	70.97	56.87	192.35	38.66	39.73	37.24	38.52	88.06	56.47	58.53	203.07
SplineR	64.28	71.33	56.48	192.10	39.94	40.78	37.86	39.64	88.33	64.14	53.73	206.28

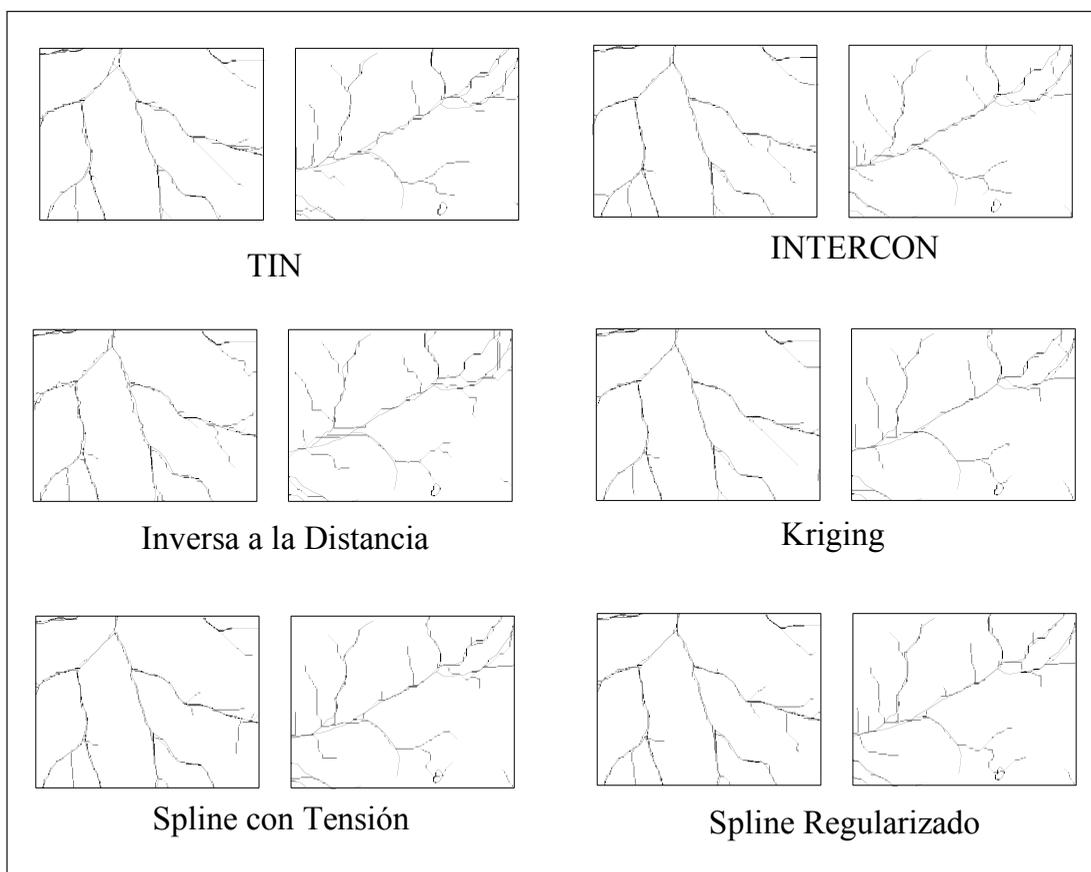


Figura 5. Comparación de los drenajes digitalizados (negro) y los generados (gris).

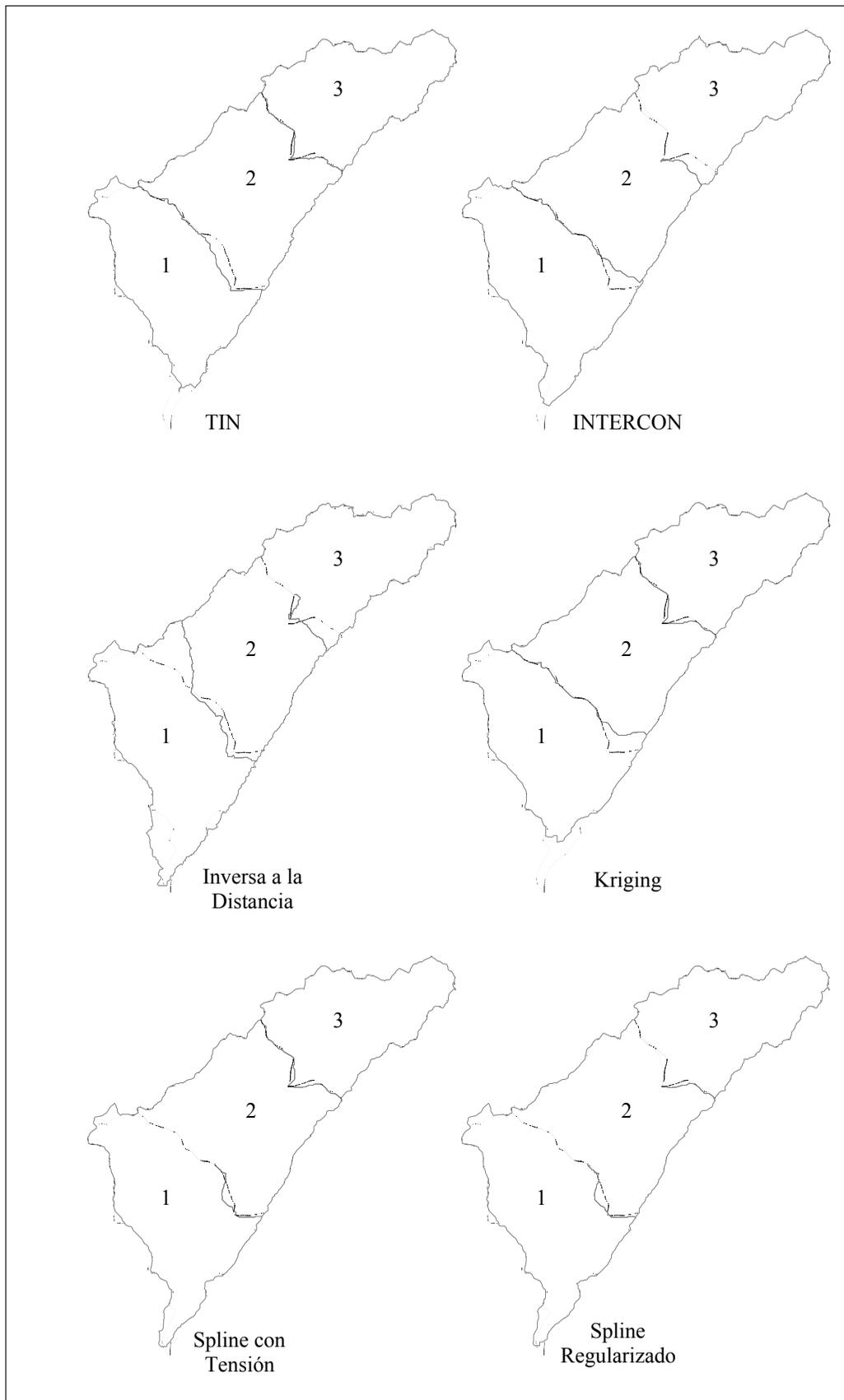


Figura 6. Divisorias de cuenca digitalizada (negra) y generadas (gris).

ración de modelos digitales de elevación, resultando los más exactos el “Spline” y “Kriging”, pero tales diferencias no se mantuvieron al aplicar los MDE con propósitos hidrológicos, excepto por el método IDW que produjo los mayores errores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, M., AGUILAR, F., CARVAJAL, F. y AGUERA F. 2002. Evaluación de diferentes técnicas de interpolación espacial para la generación de modelos digitales del terreno agrícola [en línea] 2002. Dirección URL: http://w.w.w.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=22-51k. [Consulta: 20 Abr. 2002].
- ALCALÁ, J. 1997. Análisis de las diferencias entre los modelos digitales de elevación [en línea] 1997. Dirección URL: <http://w.w.w.etsimo.umovi.es/~fen/invitados/alcala/texto.htm>. [Consulta: 10 Jul. 2001].
- BUJA, K. 2003. “Gridstak” (Extensión para ArcView) [en línea] 2003. Dirección URL: <http://www.arcscrip.com>. [Consulta: 22 Jul.2003].
- CARVACHO, L. y SÁNCHEZ, M.1997. Modelos digitales del terreno: comparación entre modelo TIN y el INTERCON. [en línea] 1997. Dirección URL: <http://w.w.w.etsimo.umovi.es/~fen/invitados/carvacho/texto.htm>. [Consulta: 10 Jul. 2001].
- HERBOLD, C. 2003. “Compiled theme tools” (Extensión para ArcView). [en línea] 2003. Dirección URL: <http://www.arcscrip.com>. [Consulta: 22 Jul.2003].
- MITASOVA, H., MITAS, L., BROWN, W. and JOHNSTON, D. 2000. Terrain modelling and soil erosion simulation final report. [en línea]. 2000. Dirección URL: <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/cer/01/finlreport/report01/default.html>. [Consulta: 15 Mar. 2003].
- OLIVERA, F. 1999. CRWR-PrePro : An Arc View preprocessor for hydrologic, hydraulic and environmental modelling. [en línea] 1999. Dirección URL: <http://www.ce.utexas.edu/prof/olivera/prepo/prepo.html>. [Consulta: 22 Jul.2003].
- SÁRKÓZY, F. Gis functions – interpolation [en línea]. 03 Abril. 1998. Dirección URL: http://w.w.w.agt.bme.hu/public_e/funcint/funcit.html. [Consulta: 02 Jul. 2001].
- VÍLCHEZ, J. 2000. Evaluación de la exactitud de modelos de elevación digital (MED) de malla regular generados a partir de curvas de nivel. *Revista Geográfica Venezolana*. 41 (2): 239 – 256.