

Creación de Modelos Digitales de Elevaciones a partir de diferentes métodos de interpolación para la determinación de redes de drenaje

J. M. Quiñonero Rubio ⁽¹⁾ y F. Alonso Sarría ⁽²⁾

⁽¹⁾ Becario Predoctoral CAM. Departamento de Geografía, Facultad de Letras, Universidad de Murcia, C/ Santo Cristo, s/n, 30001 Murcia, juanmaqr@um.es.

⁽²⁾ Departamento de Geografía, Facultad de Letras, Universidad de Murcia, C/ Santo Cristo, s/n, 30001 Murcia, alonsarp@um.es.

RESUMEN

Los Modelos Digitales de Elevaciones representan una información espacial elemental para el estudio de las formas de relieve. La obtención de modelos de gran resolución implica una mayor precisión y por tanto una mayor aproximación a la realidad de la morfología terrestre. Pero los distintos métodos existentes para la creación de estas superficies continuas generan modelados diferentes que influyen en la determinación de redes de drenaje, introduciendo la incertidumbre de, ¿qué método de interpolación es el más apropiado en cada caso? El SIG GRASS se ajusta a las necesidades de este tipo de estudios, mostrando una gran fiabilidad.

Palabras clave: MDE, métodos de interpolación, redes de drenaje, GRASS

ABSTRACT

The Digital Elevations Models represent an elementary space information for the study of the relief forms. The obtaining of models of great resolution implies a greater precision and therefore a greater approach to the reality of the terrestrial morphology. But the different existing methods for the creation from these continuous surfaces generate modeled different that they influence in the determination of drainage networks, introducing the uncertainty of, what method of interpolation is most appropriate in each case of study? The GIS GRASS adjusts to the necessities of this type of studies, showing a great reliability.

Key words: DEM, interpolation methods, drainage networks, GRASS

INTRODUCCIÓN

Según la definición de Felicísimo[1] un Modelo Digital de Terreno (MDT) es "*una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua*". Un MDT tiene que cumplir dos condiciones [2]:

- Debe existir una estructura interna que represente las relaciones espaciales entre los datos.
- La variable representada en el modelo debe ser cuantitativa y de distribución continua.

En [3] define el MDE como una "*representación matricial regular de la variación continua del relieve en el espacio*". Por tanto, un terreno real puede describirse de forma genérica como una función bivariable continua $z = \zeta(x,y)$ donde z representa la altitud del terreno en el punto de coordenadas (x,y) , y ζ es una función que relaciona la variable con su localización geográfica. En un MDE se aplica la función anterior sobre un dominio espacial concreto, D , por lo que queda definido como $MDE = \zeta \square D$ [1].

Un MDT y, por tanto, un MDE pueden obtenerse mediante diversos procedimientos de interpolación. El proceso de interpolación espacial consiste en la estimación de los valores que alcanza una variable (por ejemplo altitud en un MDE) en un conjunto de puntos georreferenciados, partiendo de los valores que adopta esta variable en una muestra de puntos conocidos creando superficies continuas; la estimación de valores fuera del área de estudio constituye una extrapolación. En algunos casos se pueden utilizar variables de apoyo a la interpolación/extrapolación [3].

Lo más habitual es partir de medidas puntuales (cotas) o de isolíneas (curvas de nivel), siendo los métodos que se usan en uno u otro caso muy diferentes. Todos los métodos de interpolación se basan en la presunción lógica de que cuanto más cercanos estén dos puntos sobre la superficie terrestre existirá una mayor correlación espacial.

Se pueden diferenciar dos métodos generales de interpolación [3], los *métodos globales* que asumen la dependencia de la variable a interpolar de otras variables de apoyo y los *métodos locales* que se basan en la utilización de puntos más cercanos al punto de interpolación para estimar la variable z en este caso.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tiene una gran afinidad con la hidrología [2] y por ello los investigadores se han ayudado de estas herramientas con el fin de construir modelos hidrológicos, especialmente a la hora de obtener redes de drenaje y parámetros hidrológicos orientados a la estimación de caudales [3][4].

Las características topográficas de una ladera determinan las pautas por las que el agua circula sobre ella. El MDE contiene información suficiente para definir, al menos en una primera aproximación, las propiedades de la red de drenaje superficial y, por extensión, de la cuenca hidrológica. Las líneas de flujo siguen la línea de máxima pendiente por lo que pueden deducirse del Modelo Digital de Pendientes (MDP) con la única limitación que supone la calidad del MDE original. A partir del trazado de las líneas de flujo es posible definir la red hidrológica, área subsidiaria de una celda y cuencas hidrológicas. El área subsidiaria de una celda se define como el conjunto de celdas cuyas líneas de flujo convergen en ella; una cuenca hidrológica está formada por el área subsidiaria de una celda singular que actúa como sumidero [5].

Área de estudio

Este trabajo se desarrolla en la Rambla del Beal, localizada en el sureste de la Región de Murcia (figura 1). Esta rambla se ha seleccionado porque presenta fuertes pendientes en su zona de cabecera con una cota máxima en 395 metros, descendiendo rápidamente a los 0 metros de altitud y desembocando en el Mar Menor. La fuerte ruptura de pendiente y su amplia superficie llana de desembocadura la hacen atractiva para desarrollar estudios con el fin de llevar a cabo diferentes métodos de creación de MDE's y extracción de redes de drenaje ya que presenta áreas topográficamente muy diferentes.

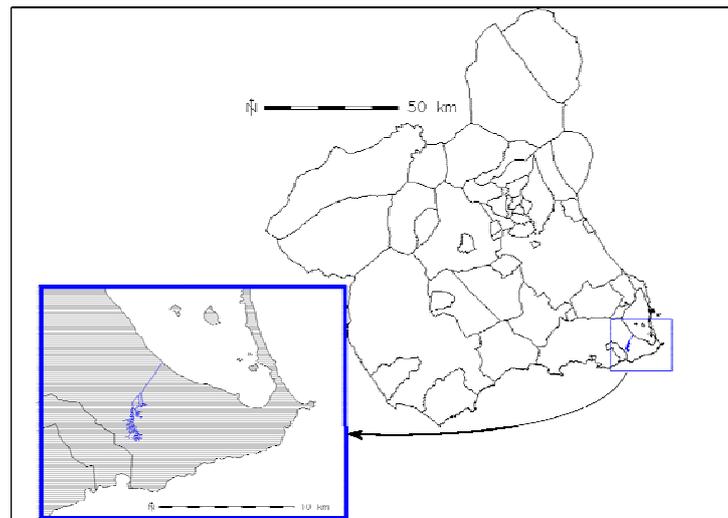


Figura 1: Localización del área de estudio

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se han utilizado varios métodos destinados a la interpolación de variables espaciales, en este caso elevaciones, a partir de diferentes formatos con el objetivo de obtener MDE's de 2, 5 y 10 metros de resolución, para en una segunda fase extraer de forma automática la red de drenaje. La información topográfica de partida son las curvas de nivel y puntos de cota de los mapas a escala 1:5.000 del Servicio de Cartografía Regional CARM. Los procedimientos empleados son:

- ***Interpolación lineal (r.surf.contour)***: realiza una interpolación lineal a partir de curvas de nivel en formato vectorial que deben ser rasterizadas previamente con el comando *v.to.rast*. Para obtener una resolución vertical adecuada basta con pasar a centímetros las unidades de medida de las celdas rasterizadas utilizando el programa *r.mapcalc* para álgebra de mapas. Utilizando distancias reales se establecen nuevos valores intermedios utilizando la distancia más corta entre un punto de una curva de nivel y la siguiente. Las curvas de nivel deben extenderse más allá de la región en la que se trabaja, ya que las elevaciones fuera de los límites de estudio van a ser utilizadas también para no generar errores en los bordes del área seleccionada. La velocidad de este módulo depende de la distancia existente entre las curvas de nivel rasterizadas.
- ***Inverso de la Distancia (librería gstat)***: este método utiliza como estimador una media ponderada de los valores registrados en una serie de puntos cercanos.

Como coeficiente de ponderación se utiliza en cada caso el inverso de la distancia entre ese punto y el punto a estimar elevado a un exponente, en este caso 2. Debido al elevado número de puntos se han tomado sólo los 100 puntos más cercanos. Al tratarse de una media ponderada, el resultado se encuentra siempre dentro del rango de valores de los puntos utilizados para calcular dicha media. Para su cálculo se ha utilizado el paquete *gstat* de R, los datos se han importado a R mediante el paquete *spgrass6*.

- **Splines** (*v.surf.rst*): este método simula como una membrana flexible se adapta a una serie de puntos *z* distribuidos por el terreno. La optimización del método se regula con el parámetro *tensión*, que condiciona la superficie generada según la suavidad con que se adapte la membrana. El valor de la *tensión* depende de la escala de trabajo, y para valores elevados incrementa la distancia entre los puntos considerados y reduce el rango de impacto de cada punto. Un valor bajo de *tensión* reduce la distancia entre puntos y la influencia de cada punto sobre otro alcanza un amplio rango. El comando con el que se desarrolla representa uno de los módulos de *GRASS* que más ha evolucionado, pero requiere un cuidadoso ajuste de sus parámetros para conseguir la mayor exactitud. En las últimas versiones del programa se incluye la posibilidad de optimizar el valor del parámetro de tensión en función de la distribución de los puntos muestrales.
- **Krigging** (*librería gstat*): se asume que la altitud es una variable regionalizada por lo que puede ser expresada parcialmente utilizando funciones de correlación espacial. Esta correlación espacial se evalúa utilizando la función semivariograma y se utiliza para generar unas ecuaciones de kriggeado que permiten interpolar la variable medida. Para llevar a cabo este procedimiento se ha utilizado el programa *R*, la librería *spgrass6* para importar los datos puntuales y el programa *gstat* para el análisis geoestadístico. Previo al cálculo del semivariograma se ha utilizado un modelo lineal para eliminar la deriva de la variable, la ecuación de este modelo es $Z=153800 - 0.01348 X - 0.03465 Y$. En la figura 2 aparece el semivariograma calculado, este semivariograma se ha ajustado con un modelo esférico con meseta igual 1019 y alcance igual a 2054.
- **Triangulated Irregular Network (TIN)**: se trata de un método ampliamente difundido. Para llevar a cabo este tipo de interpolación es necesario partir de puntos con cotas. Con el comando *s.delaunay* se crea la Red Irregular de Triángulos por simple triangulación. En una segunda fase se crea una capa raster a partir del *TIN* y los puntos utilizados como vértices con el comando *v.surf.tin*. Este módulo ha sido desarrollado por los autores.

Una vez generados los diferentes MDE's se calcula la cuenca vertiente a cada una de las celdillas y su extensión. Para ello se recurre al método determinista dado por el algoritmo *D-8* [6], que aplica un operador de vecindad de para conducir el flujo de cada celdilla a la celdilla vecina respecto a la que tiene mayor pendiente descendente. El módulo *r.watershed* de *GRASS* utiliza este procedimiento para determinar el área drenada por cada una de las celdillas

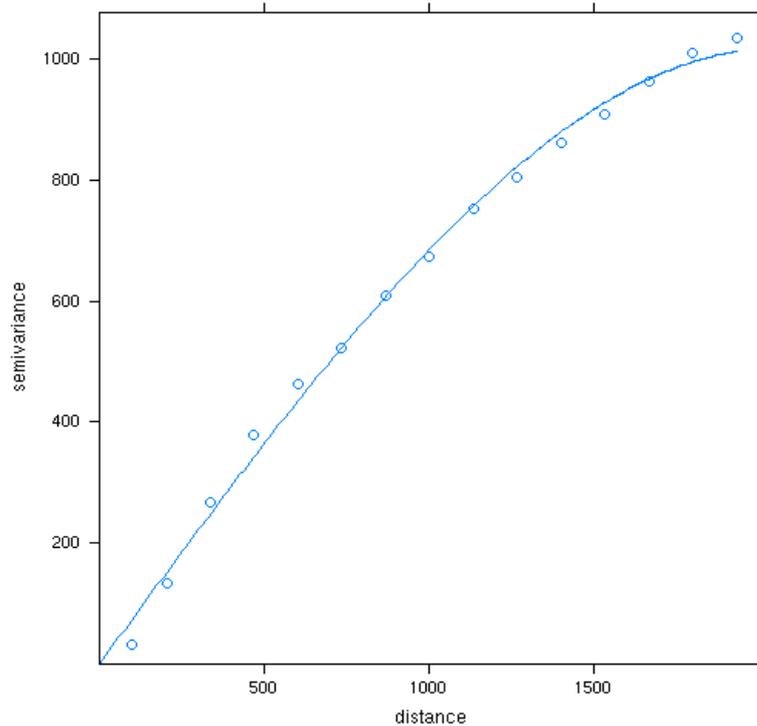


Figura 2.

Semivariograma de los residuales de la altitud

Existe un umbral de área drenada por encima del cual la celda en cuestión puede considerarse como perteneciente a un cauce. Basta con reclasificar el mapa resultante para asignar un valor de 1 a aquellas celdas con área subsidiaria mayor que dicho umbral y valor 0 o nulo al resto [7].

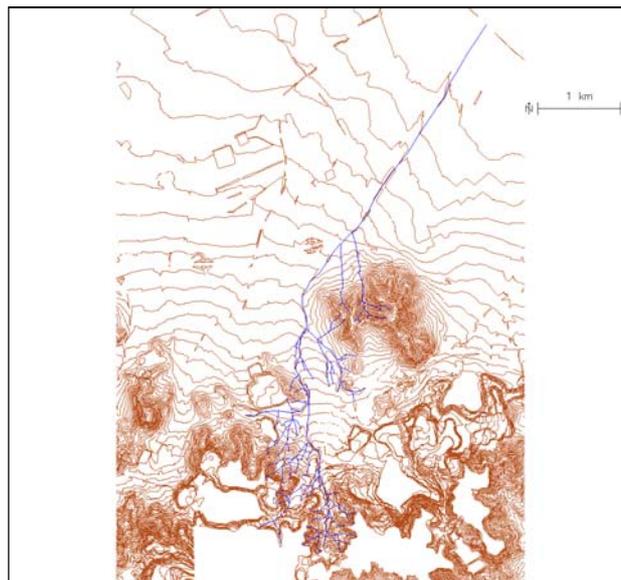


Figura 2: Curvas de nivel de escala 1:5.000 y red de drenaje digitalizada manualmente con el programa v.digit

Como referencia a las redes de drenaje extraídas automáticamente se ha digitalizado manualmente esta misma red con el programa *v.digit* a partir de las inflexiones de las curvas de nivel 1:5.000 (figura 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han obtenido MDE's con resoluciones de 10, 5 y 2 metros según los métodos antes expuestos, un ejemplo se puede ver en la figura 3. Cada tipo de modelo ha creado una superficie diferente en función de la interpolación empleada y los datos de partida empleados.

Las redes de drenaje extraídas de cada uno de los modelos y con distintas resoluciones son muy diferentes entre si. No existe una semejanza apreciable entre las redes de drenaje extraídas de forma automática y la red preliminar digitalizada manualmente, salvo en el caso de los MDE's generados con el comando *r.surf.contour* (figura 4) (interpolación lineal), ya que la digitalización manual de la red de drenaje se realiza a partir de las mismas curvas de nivel que son utilizadas por este método, mientras que el resto de procedimientos toman puntos de cota como dato de partida. A pesar del buen ajuste se generan cauces rectilíneos y desconexiones entre cauces, especialmente en zonas muy llanas.

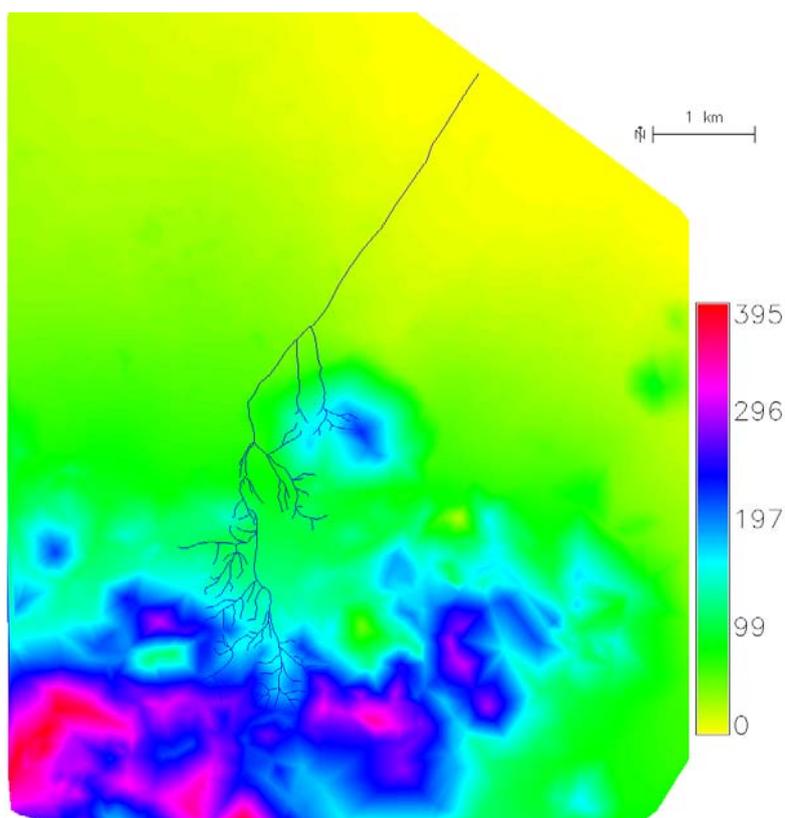


Figura 3: Ejemplo de MDE generado a partir de interpolación TIN con resolución de 2 metros y red de drenaje digitalizada manualmente.

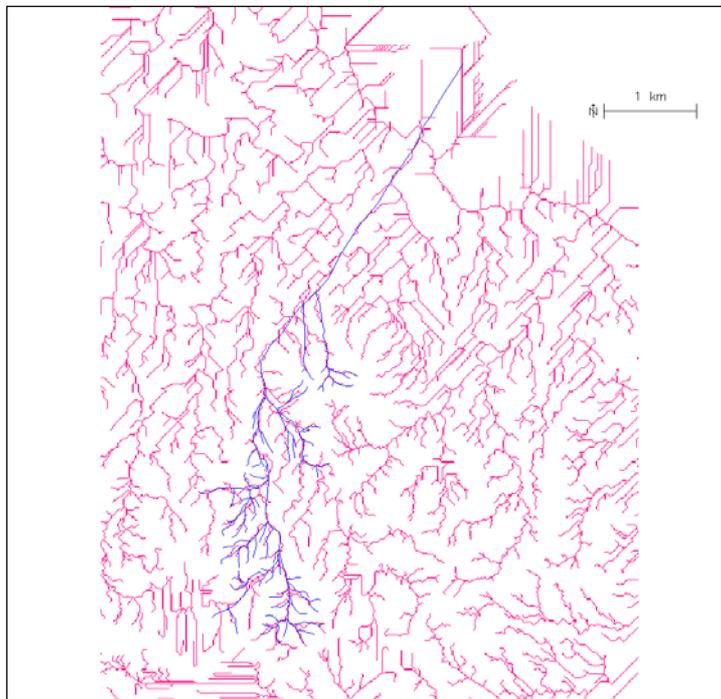


Figura 4: Red de drenaje extraída automáticamente a partir de un MDE generado por interpolación lineal con resolución de 10 metros

El valor umbral estimado para cada modelo es diferente de los demás incluso tratándose de la misma resolución como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1: Métodos de interpolación empleados en el MDE, resolución de celda y valor umbral de cada red extraída automáticamente

Método de interpolación empleado	Resolución de celda (metros)	Valor umbral de área drenada
Lineal	10	100
Lineal	5	500
Lineal	2	700
IDW	10	200
IDW	5	900
Krigging	5	1000
TIN	2	900
Splines optimizado	10	300
Splines	10	300
Splines optimizado	5	500
Splines	5	500

La interpolación por *krigging*, es tal vez la que peor ajuste de la red de drenaje (figura 5). La red extraíble de este tipo de modelos resulta poco eficiente y la aparición

de cauces desconectados y rectilíneos es muy abundante. Esto se debe a que el umbral de área drenada debe ser muy elevado para que desaparezcan grandes superficies de píxeles que conforman parte de cauces.

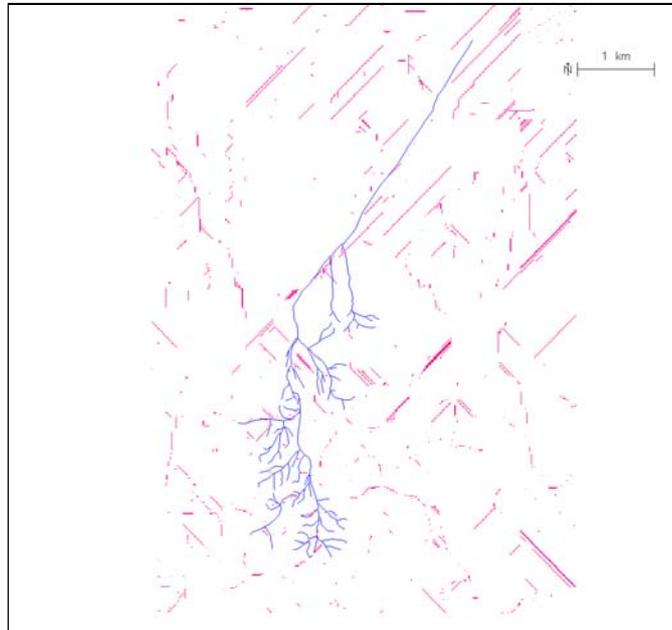


Figura 5: Red de drenaje extraída automáticamente a partir de un MDE generado por kriging con resolución de 5 metros.

Las redes de drenaje derivadas de la interpolación por *IDW* presentan cauces con recorridos muy angulosos y una gran densidad de cauces rectilíneos (figura 6).

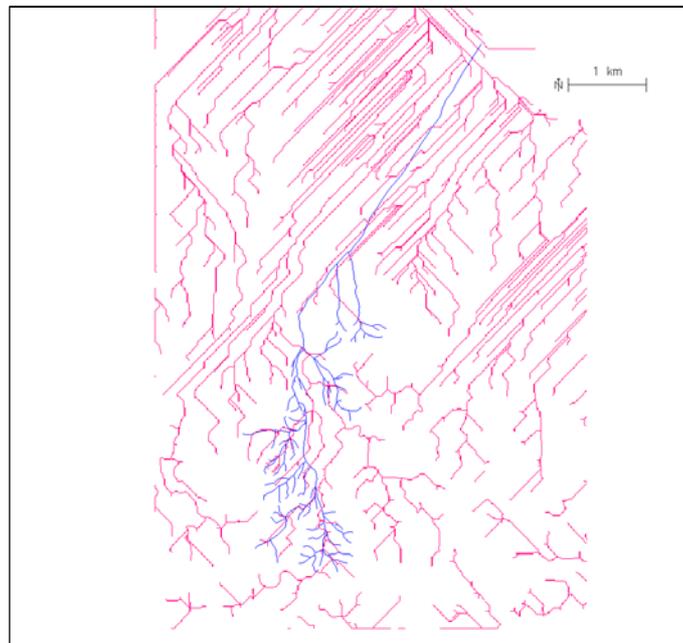


Figura 6: Red de drenaje extraída automáticamente a partir de un MDE generado por IDW con resolución de 10 metros.

Los resultados derivados de la interpolación por *splines* muestran que para resoluciones bajas (10 metros, figura 7 y 8) la optimización del parámetro *tension* elimina celdas de cauces que generan “ruido” en la red de drenaje extraída. Sin embargo este efecto no se aprecia con resoluciones mayores (5 metros).

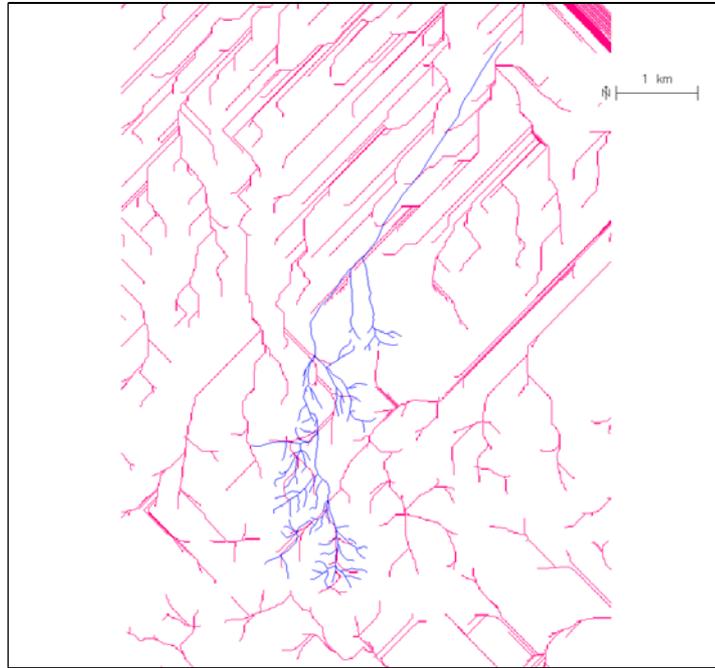


Figura 7: Red de drenaje extraída automáticamente a partir de un MDE generado por splines con resolución de 10 metros sin optimización del parámetro tension.

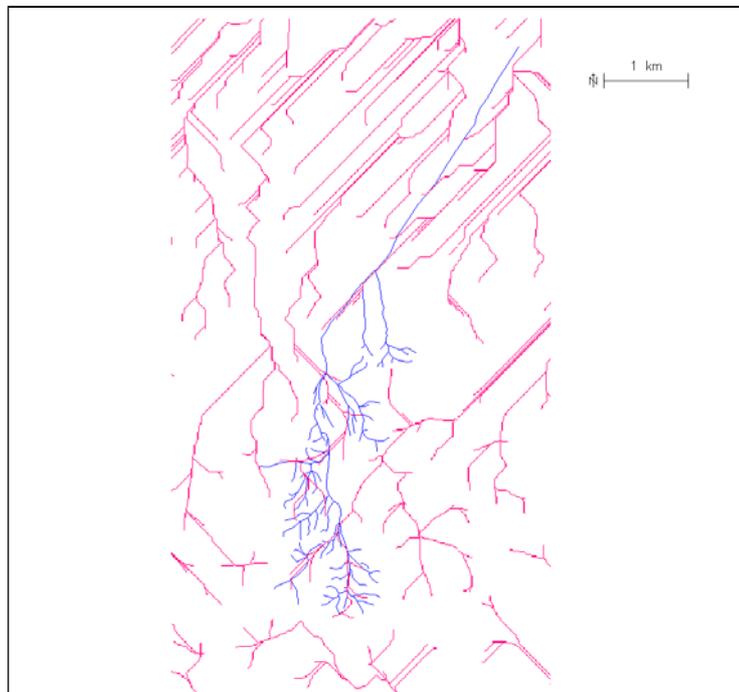


Figura 8: Red de drenaje extraída automáticamente a partir de un MDE generado por splines con resolución de 10 metros optimizando el parámetro tension.

Los resultados que se presentan en este trabajo son preliminares y se encuentran dentro del marco de una Tesis Doctoral a partir de la cual se pretende obtener resultados más precisos con la experimentación de diferentes métodos. En particular se van a utilizar métodos basados en puntos con una combinación de puntos de cotas y de puntos extraídos de la descomposición de las curvas de nivel.

CONCLUSIONES

Muchas de las redes extraídas presentan gran cantidad de cauces rectilíneos a pesar de las diferencias evidentes que presentan los diferentes MDE's. Ello se puede deber al algoritmo empleado para calcular las capas de acumulación de flujo. La utilización de otros métodos de tipo estocástico con el fin de establecer comparaciones abriría el abanico de posibilidades pudiendo alcanzar mayor precisión.

La red extraída de la interpolación lineal es la más fiable y tiene una morfología totalmente distinta al resto de redes calculadas.

La resolución de celda empleada es independiente de la calidad y fiabilidad de la red de drenaje. Una resolución grande no implica poder extraer una red de cauces eficiente.

La optimización de los modelos generados por *splines* pueden llegar a dar buenos resultados si se combinan con procedimientos efectivos de cálculo de acumulación de flujo.

REFERENCIAS

- ◆ [1] FELICISIMO, A.M., (1994). *Modelos Digitales del Terreno*. Oviedo (España). <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>
- ◆ [2] OLAYA FERRERO, V., (2004). Hidrología Computacional y Modelos Digitales de Terreno: Teoría, práctica y filosofía de una nueva forma de análisis hidrológico. (<http://heart.sf.net/textos>).
- ◆ [3] BURROUGH, P. A. & MCDONNELL, R. A., (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University. 333pp.
- ◆ [4] MORAD, M. & TRIVIÑO PÉREZ, A., (2001): *Sistemas de Información Geográfica y modelizaciones hidrológicas: una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación*. Boletín de la AGE, nº 31, 23-46 pp.
- ◆ [5] ALONSO SARRÍA, F., (2004). SIG aplicados al análisis y cartografía de riesgos climáticos. *Métodos y Técnicas de Análisis de Riesgos Climáticos*. II Curso de Verano de la Asociación Española de Climatología. 70 pp.
- ◆ [6] O'CALLAGHAN, J.F. & MARK D.M., 1984: *The extraction of drainage networks from digital elevation data*. *Computer Vision, Graphics and Image Processing* 28: 323-44.
- ◆ [7] ALONSO SARRÍA, F., GOMARIZ CASTILLO, F. Y PÉREZ CUTILLAS, P., (2004). Análisis de riesgo de inundación en zonas afectadas por avenidas de cuencas hidrográficas en régimen natural en la Región de Murcia. *Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de Información Geográfica*. Departamento de Geografía de la Universidad de Murcia y Grupo de Métodos Cuantitativos, *Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, 219-231 pp.