

#### V.4.4.1.2. PENDIENTE DEL TERRENO.

Podríamos definir la pendiente del terreno en un punto dado como el ángulo que forma el plano horizontal con el plano tangente a la superficie del terreno en ese punto. Es, en definitiva, la inclinación o desnivel del suelo.

En lugar de expresarla como un ángulo, es más interesante representar la pendiente del terreno como un valor de tanto por ciento. Esto se obtiene multiplicando por 100 la tangente del ángulo que define el desnivel del suelo.

##### a) Fuentes:

Modelo Digital del Terreno (DTM US Army) proporcionado por el Servicio Geográfico del Ejército. Como ya se ha dicho en el apartado 1., se trata de un DTM ráster georreferenciado mediante la proyección esférica (coordenadas de latitud,  $\phi$  y longitud,  $\lambda$ ) con una resolución de tres segundos de arco. Cubre toda Andalucía y zonas circundantes (Murcia, parte de Portugal, etc.).

##### b) Metodología:

El proceso seguido hasta obtener la pendiente del terreno en cada punto de la región fue el siguiente :

Aplicación del filtro de pendientes de Söbel en sentido horizontal (de Oeste a Este) :

$$p_G = \left( \left[ \begin{array}{c} 101 \\ 202 \\ 101 \end{array} \right] - \frac{1}{6d(j)} \right) \cdot 100$$

$d$  es la distancia entre dos puntos contiguos del terreno expresada en metros. Es, por tanto, la resolución del DTM. Sin embargo, la resolución del DTM de partida es, como vimos, de 3 segundos de arco. Debe traducirse este valor a metros.  $d(\phi)$  es la resolución del DTM expresada en metros. Es una función de la latitud  $\phi$ , ya que la distancia en metros correspondiente a un segundo de arco, depende de esta coordenada (crece a medida que nos acercamos al Ecuador).

Se trata de aplicar ese filtro a cada pixel del mapa de elevaciones (DTM). Conceptualmente sería un proceso similar al cálculo tradicional de la pendiente del terreno, evaluando la diferencia de elevaciones entre los vecinos de la izquierda y los de la derecha del pixel en estudio y dividiendo por la distancia que los separa. Al multiplicar

el valor por cien, se expresa en forma de tanto por ciento. Este cálculo se realizaría, por tanto, en el sentido Oeste-Este.

Esto da lugar a un fichero que para cada punto de la región contiene la pendiente del terreno  $p_e$  en sentido Oeste-Este expresada en forma de tanto por ciento, en proyección esférica y con una resolución de 3 segundos de arco.

Como en el caso del DTM, es necesario ahora aplicar una corrección geométrica que nos permita pasar de la proyección esférica (coordenadas de latitud y longitud) a la proyección plana UTM.

Al igual que en el caso del DTM, se aplica una nueva corrección geométrica para ajustar la línea de costa a la base cartográfica a escala de reconocimiento. Para ello se utilizarán los mismos polinomios de transformación obtenidos como se explicó en la sección 1, tomando puntos de control en el DTM y en el mapa de municipios.

Finalmente se obtiene el mapa de pendientes  $p$  en sentido Oeste-Este en coordenadas UTM, huso 30 y con una resolución de 75 metros.

Parece lógico que el cálculo de las pendientes se realice directamente a partir del DTM ya corregido a la proyección UTM. Sin embargo esto da lugar a una serie de imprecisiones que, si bien resultan despreciables al trabajar con valores de elevación, se magnifican al calcular las pendientes, introduciendo unos errores que inutilizan los resultados en las zonas de mayor relieve.

De ahí que el proceso seguido, comience con el cálculo de las pendientes en el DTM en coordenadas geográficas para después aplicar la corrección geométrica al resultado.

En la figura 3 se muestra una imagen sintética en blanco y negro de Andalucía en relieve. A partir del fichero de pendientes obtenido y reescalando los valores de pendientes a niveles de gris entre 0 y 255 se obtiene este efecto de relieve que simula una iluminación de la escena desde el Oeste. Los valores mayores de pendiente (los más positivos) corresponderán a las laderas con desnivel más pronunciado y orientadas hacia el Oeste. Son los tonos más claros, pues suponiendo que el Sol está en el Oeste, quedan de cara a él. Las pendientes menores (las más negativas) serán las laderas con desnivel más pronunciado y que están orientadas al este. Por tanto quedan ocultas al Sol y están a la sombra (tonos más oscuros).

Aplicación del filtro de pendientes de Söbel en sentido vertical (de Sur a Norte):

$$q_G = \left( \left[ \begin{array}{ccc} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \\ & & 1 & 2 & 1 \end{array} \right] - \frac{1}{6d} \right) \cdot 100$$

**d** es la resolución del DTM expresada en metros. En este caso es una constante, pues la distancia en metros correspondiente a un segundo de arco no varía con la coordenada de la longitud  $\lambda$ .

Es el mismo procedimiento explicado en el punto 2.1. con la diferencia de que la pendiente se calcula en sentido Sur-Norte en lugar de Oeste-Este. Esto da lugar a un fichero que para cada punto contiene la pendiente del terreno  $q_G$  en sentido Sur-Norte expresada en forma de tanto por ciento, en coordenadas esféricas de latitud y longitud y con una resolución de 3 segundos de arco.

Nuevamente se aplica la corrección geométrica para la transformación a la proyección UTM y a continuación la corrección ya explicada para el ajuste de la línea de costa. Se obtiene así un mapa de pendientes  $q$  en sentido Sur-Norte, para toda Andalucía en proyección UTM y con una resolución de 75 metros.

A partir de los dos ficheros de pendientes  $p$  y  $q$  en sentido Oeste-Este y Sur-Norte respectivamente se obtiene la pendiente total en cada punto del terreno según la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{p^2 + q^2}$$

La figura 4 resume todo el procedimiento seguido para el cálculo de pendientes.

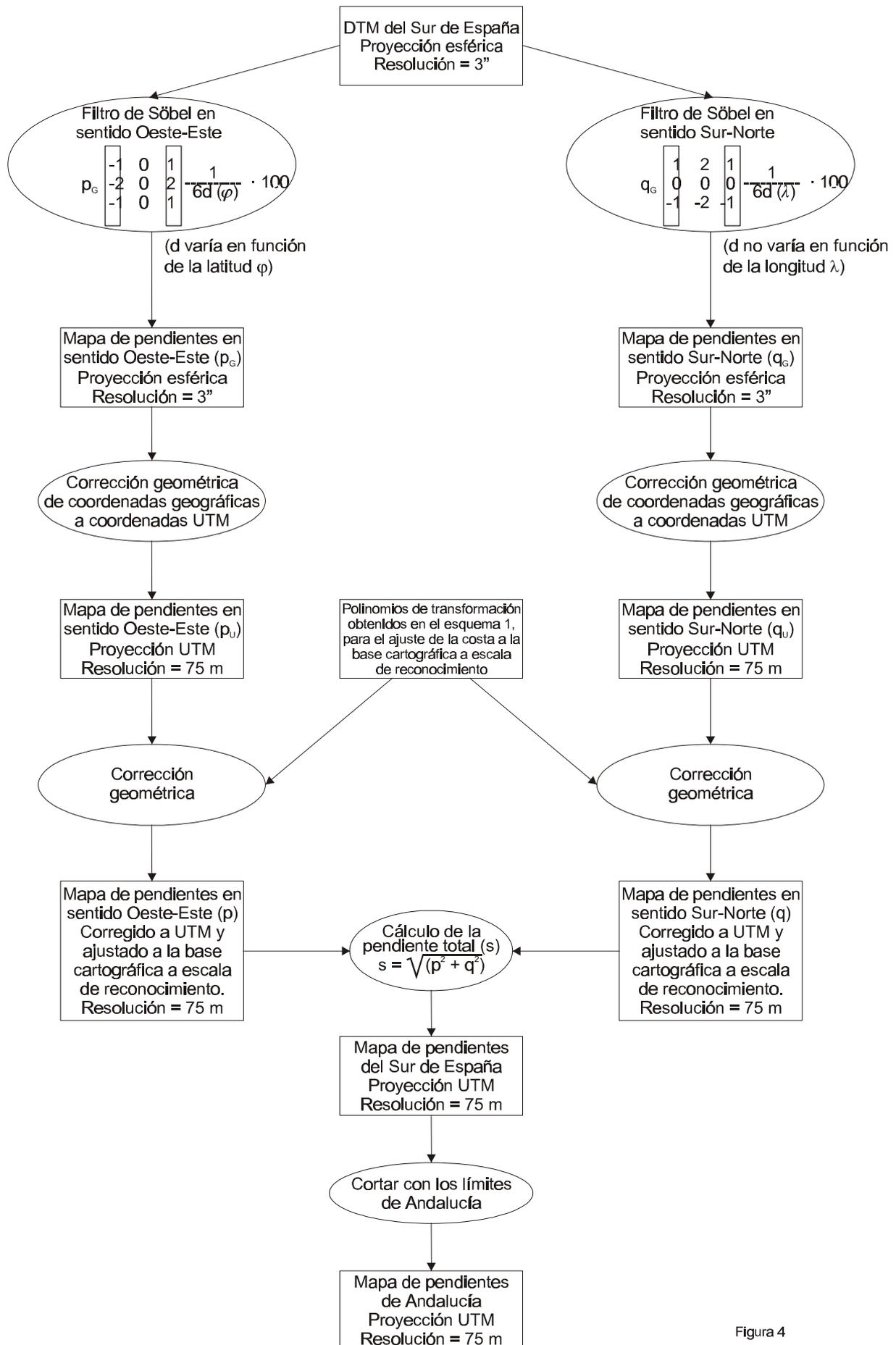
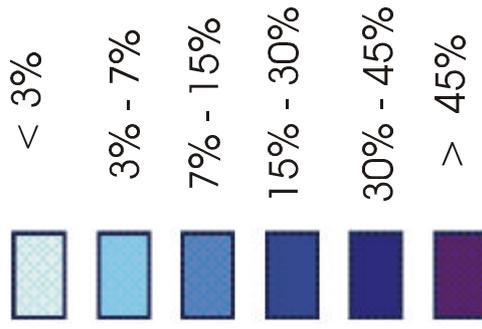
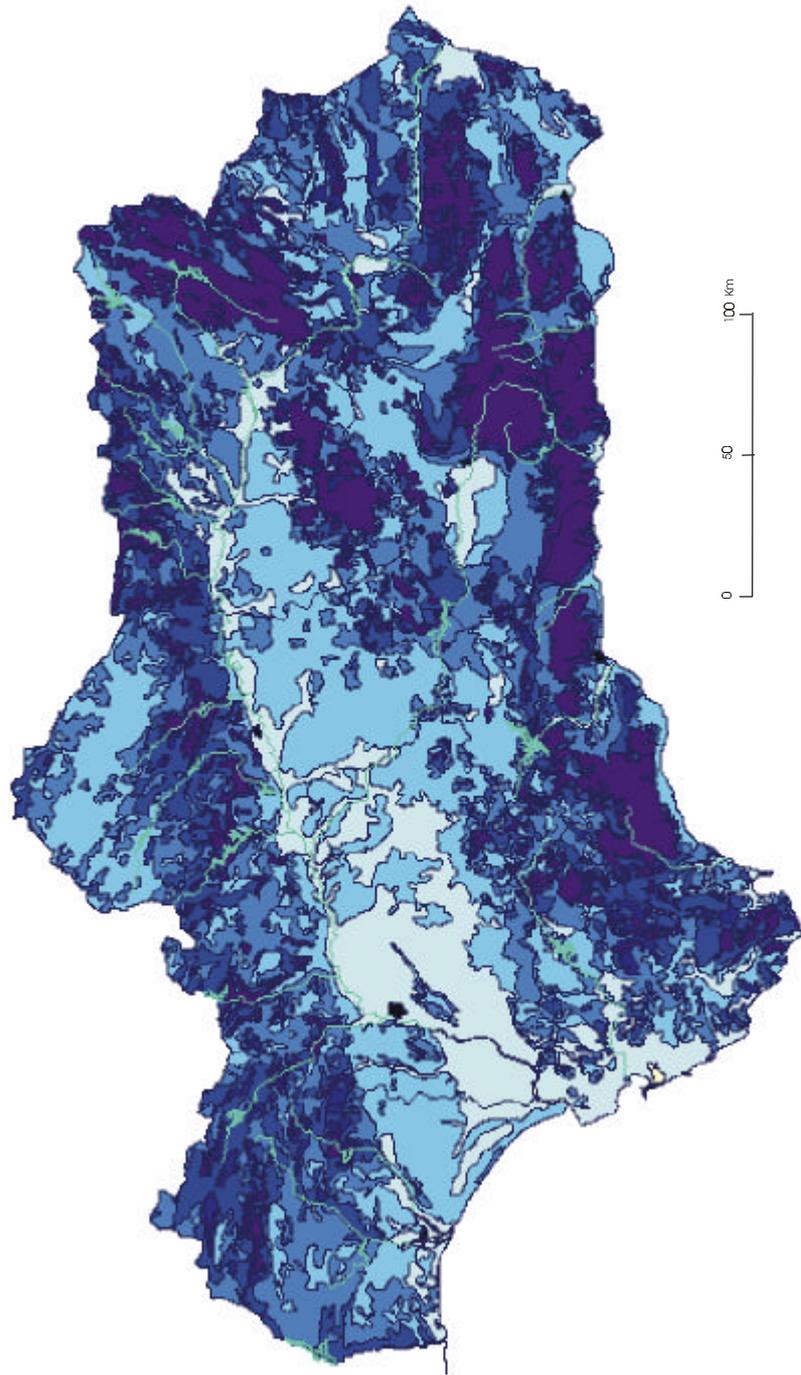


Figura 4

# PENDIENTES

SinambA



c) Resultados:

Fichero de pendientes en formato ráster que cubre toda Andalucía con una resolución de 75 metros. Para cada punto de la región el fichero contiene la pendiente del terreno expresada en forma de tanto por ciento. La proyección, como siempre, es la UTM en el huso 30.

En la figura 5 se ve un mapa de pendientes de toda Andalucía agrupado en 13 clases. Cada clase tiene un color diferente y corresponde a un rango de pendientes.

**V.4.4.1.3. Obtención de la Orientación de la pendiente.**

Podemos considerar que la orientación del terreno en un punto dado es la dirección que seguiría una gota de agua que partiendo del punto en estudio se deslizara sobre el terreno. Esta es la dirección de máxima pendiente.

a) Fuentes:

DTM (Modelo Digital del Terreno de toda Andalucía con resolución de 75 metros y proyección UTM).

b) Metodología:

La orientación para cada punto del mapa se obtuvo a partir de la dirección de máxima pendiente del terreno. Se trata de calcular para cada punto de la región cuál es la dirección que seguiría una gota de agua que se deslizara por el terreno. Esta es la dirección de máxima pendiente.

Partiendo de los datos de elevación (el DTM de 75 m. de resolución y en proyección UTM) para cada punto del terreno se calcula la pendiente con cada uno de sus ocho vecinos. Esto es, para cada vecino se calcula la diferencia de elevaciones entre él y el punto en estudio y el resultado se divide por la distancia en metros que los separa. (Se trata de calcular la tangente del ángulo que forma la horizontal con la recta que une el punto en estudio con el vecino).

Este cálculo de pendientes se realiza para ocho direcciones (Norte, Noreste, Este, Sureste, Sur, Suroeste, Oeste y Noroeste). Cada dirección correspondería a uno de los ocho vecinos. Se determina cuál es la pendiente máxima y la dirección correspondiente es la orientación del terreno en el punto en estudio.