

Metodología propuesta

Como vimos en los capítulos anteriores, la dificultad de segmentar y reconstruir líneas en mapas raster es variable, se han propuesto diferentes métodos que dependen de mucha participación del usuario experto para lograr este objetivo, sin embargo no se ha logrado consolidar alguna en especial.

La metodología que aquí se propone comienza desde el proceso de digitalizar el mapa temático en papel y termina hasta convertir la línea de interés en vector para que un GIS pueda manipularlo. Consta de tres etapas, como son el preprocesamiento, procesamiento y postprocesamiento de la imagen.

- En el preprocesamiento se ponen las imágenes raster en condiciones adecuadas, corrigiendo los problemas que surgen en la digitalización.
- En el procesamiento se realiza la clasificación por cualquiera de los métodos que se detallarán posteriormente durante su descripción.
- En el postprocesamiento se pulen los datos de las líneas de interés clasificadas y se reducen a las mismas sin perder información, excepto el ancho. Posteriormente se reconstruirán las trayectorias y se vectorizarán punto a punto las líneas y arcos resultantes en la imagen.

En este proceso se contempla el hecho de que no se tiene una clasificación adecuada para los diferentes mapas temáticos existentes en papel, por lo mismo se proponen cinco alternativas de clasificación como se verá en el capítulo 6, la evaluación de cual de estos es mejor para algún mapa raster específico quedará delegada a la opinión humana [Doermann 1997²⁹].

Aquí se propone una alternativa con la característica de su sencillez de operación y casi nula intervención del usuario.

Las hipótesis de este trabajo son las siguientes:

- Los mapas escaneados se guardan previamente en el formato de compresión JPEG, y posteriormente se procesan en formato BMP.
- Si el mapa a analizar contiene varias capas, las líneas a identificar no pertenecen a las capas básicas, deben formar parte de la información trascendente del mapa en cuestión, es decir, las líneas a identificar no están dibujadas en colores claros.
- Las líneas a localizar están dentro de una región determinada y visualmente pertenecen a un fondo en el mapa de color uniforme.

- Los colores que identifican a las líneas a localizar, no se confunden con otras líneas existentes en el mismo mapa.

5.1. Condiciones previas

El formato más utilizado para escanear es el JPEG (Joint Photographic Experts Group), con este formato se puede comprimir la imagen prácticamente sin pérdidas en una proporción hasta de 20 a 1.

El formato JPEG tiene la característica de que en el proceso de descompactación se mezcla el color de un pixel con el de sus vecinos, esta característica se puede aprovechar para sacar ventaja del formato BMP que define con mayor claridad cada pixel, pero cambia los valores bruscamente de un pixel a otro respecto a sus 8-vecinos.

En la figura 5.1 vemos esta diferencia.

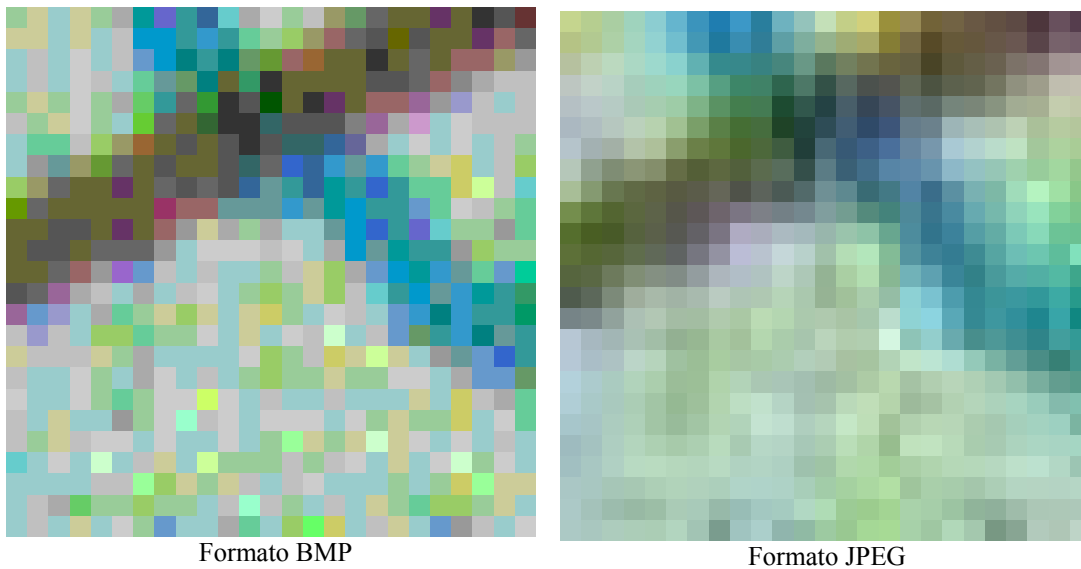


Fig. 5.1 Comparación de los diferentes formatos de una misma sección de mapa raster.

En este proceso se modifican los colores de los pixeles, que en mapas en papel pueden ser constantes, en cambio en su correspondiente mapa raster varia su tonalidad, uno de los factores que influyen es la iluminación del área de trabajo que provoca que las imágenes queden “manchadas” por tonalidades no existentes en el mapa original.

Otro problema que no corresponde al proceso de escaneo, pero que tiene mucha influencia en los resultados, son las condiciones del mapa en papel, como por ejemplo: manchas de líquidos o tintas, dobleces y rupturas del papel, etc.

En la figura 5.2 podemos observar que al realizar la digitalización cambió el color del fondo, además se aprecian los dobleces del papel.

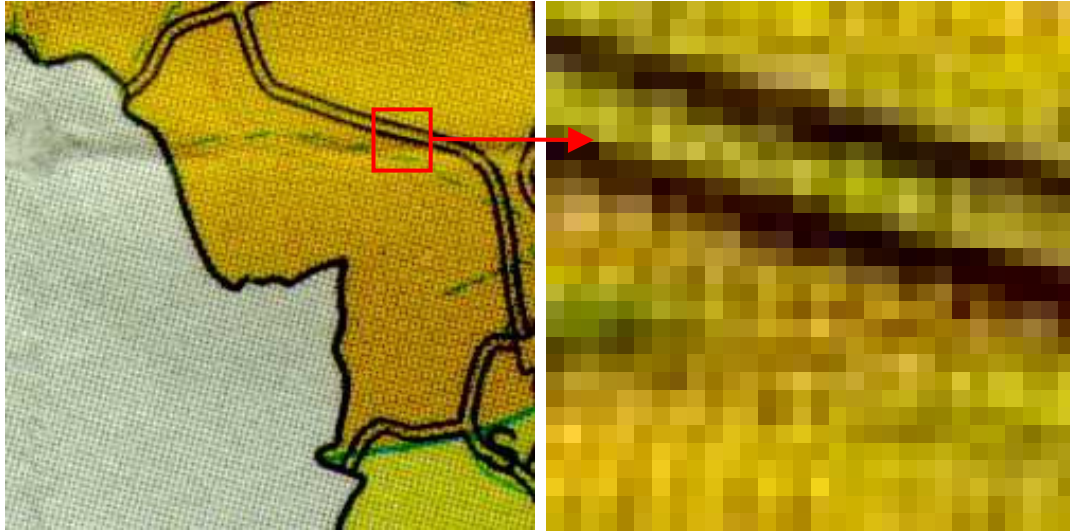


Fig. 5.2 Detalle del cambio de tonalidad por la iluminación en el proceso de digitalización de un mapa en papel.

En este trabajo se guardó el mapa raster en formato JPEG y posteriormente se transformó al formato BMP para procesar el mapa completo por partes de tamaño máximo de 2,500x3,000 píxeles cada una.

Cuándo digitalizamos en alta resolución, por ejemplo a 400 o 500 ppp (puntos por pulgada), se logra captar la textura del papel, los colores de los objetos se mezclan, incluso el fondo cambia de tonalidad, por ejemplo, una imagen original en papel tiene fondo blanco y el exceso de iluminación captada al escanear a 500 ppp produce un cambio de tonalidades en los colores contenidos en la imagen raster, como se observa en la figura 5.3.

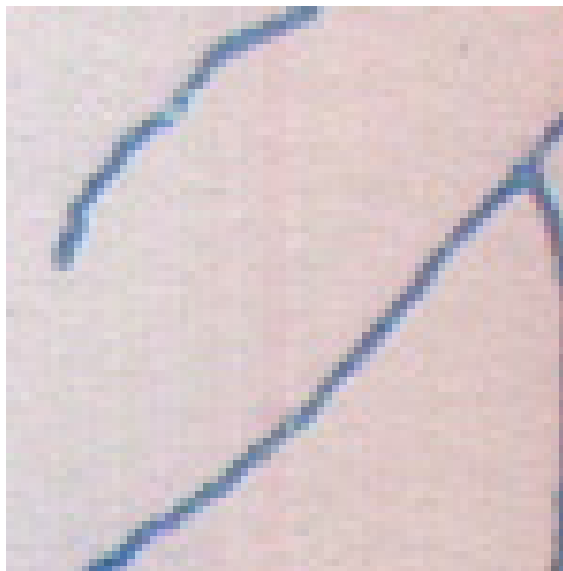


Fig. 5.3 Detalle de la captación de la textura del papel en la imagen raster.

Como se mencionó en párrafos anteriores, las imágenes que trabajaremos están escaneadas a alta resolución, a 400 y 500 ppp, por la razón de que se aprecia mejor el detalle de las líneas, vemos una comparación en la figura 5.4 ambas se encuentran en formato BMP.

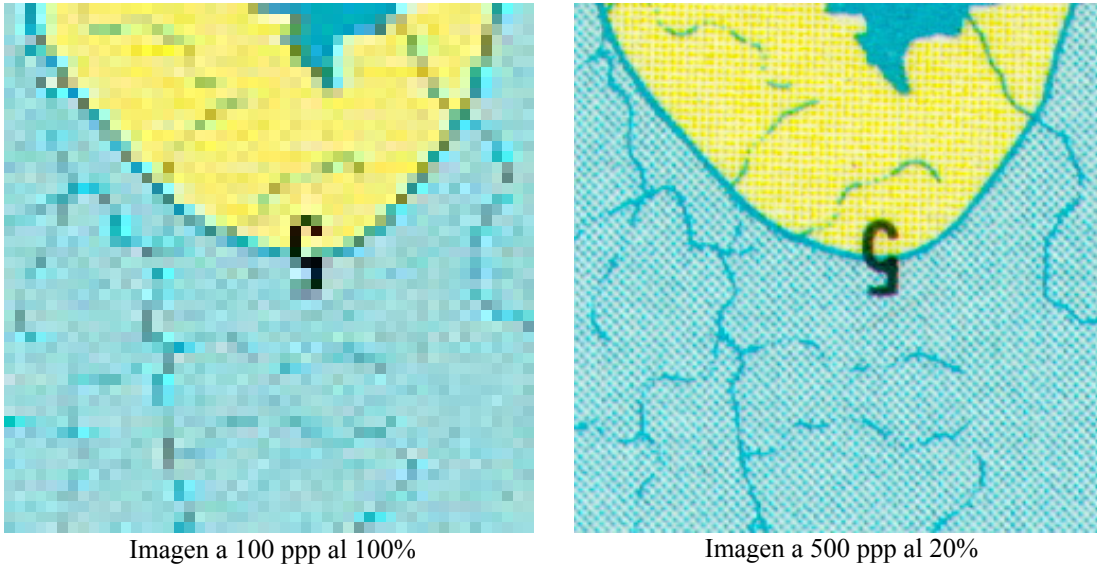


Fig. 5.4 Comparación de imágenes con diferentes resoluciones.

Una vez considerados los puntos anteriores, se va a plantear la metodología propuesta para solucionar este problema.

5.2. Descripción de la metodología

Si tomamos en cuenta que una de las causas para que no se llegue a un buen resultado depende del proceso de escaneo, para ayudar a corregir en parte el problema, se realiza un preprocesado de la imagen para quitar el ruido obtenido en la adquisición de la información y corregir en lo posible el cambio de tonalidades que suceden al mezclarse los colores contenidos en el mismo.

Se hace notar que en el proceso de promediado de los colores existentes, no existe una función inversa que nos pueda ayudar a corregir este evento.

Una vez que tengamos a la imagen en condiciones adecuadas, se aplicarán algunas técnicas de clasificación para obtener el conjunto de líneas deseadas y continuar el proceso, la aplicación de estos clasificadores esta enfocado a que la intervención del usuario experto sea mínima.

En el proceso de clasificación tenemos 5 métodos diferentes, la funcionalidad de éstos varia dependiendo de la complejidad de la imagen que se esté tratando en ese momento, como se verá más adelante en el capítulo 6, en cualquiera de estos

clasificadores el usuario tiene que señalar en la imagen un punto en donde esté contenida la línea de interés.

Cuando tenemos a los conjuntos o grupos de líneas clasificadas, éstos se aíslan en planos paralelos, al plano que contiene al conjunto de líneas de interés se le realizarán los procesos siguientes, los demás grupos se guardarán para utilizarlos en la etapa de reconstrucción de líneas.

El proceso siguiente será el de adelgazar los segmentos de líneas encontradas, es decir, reducir la cantidad de puntos que las conforman sin perder información. En este proceso se aprovecha para quitar el excedente de ruido que se introdujo en la clasificación.

Posteriormente se crean listas o tablas secuenciales con los puntos clasificados, con la condición de que sean 8-vecinos y que pertenezcan al mismo segmento de línea, de tal manera de que todos los puntos existentes pertenezcan a alguna lista.

Cuando todos los puntos están contenidos en listas, se buscan los extremos de las listas y se observa si existe otra lista en la trayectoria del punto extremo, siempre y cuando no sea el borde de la imagen, en el caso que exista otra lista se unirán respetando algunas condiciones, cuando las listas estén unidas, se eliminarán las pequeñas que no se puedan unir a ninguna otra o que pertenezcan a otro grupo.

En el proceso de reconstrucción de líneas, se pintarán las uniones o interpolaciones de las listas, dependiendo de la posición de los puntos nuevos respecto al conjunto clasificado al que pertenezcan en el plano paralelo, esto es con la finalidad de facilitar al operador la tarea de corrección en caso necesario del mapa vectorizado.

Para completar el proceso de conversión de la imagen del mapa raster a formato vectorial, se agrega una tabla con los atributos definidos junto a la imagen resultante.

Diagrama de flujo de la metodología propuesta

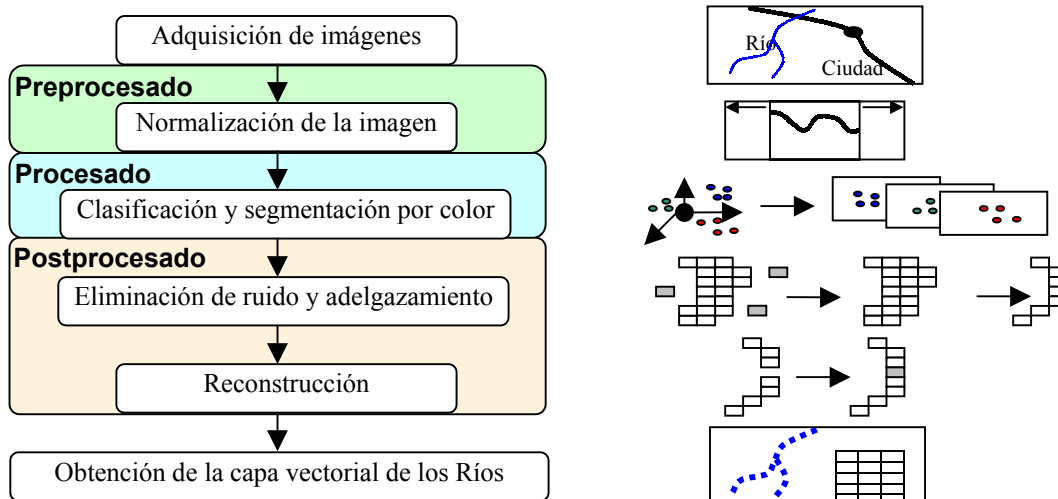


Fig. 5.5 Diagrama de flujo de la metodología propuesta.

Los resultados y comparaciones de estos procedimientos se verán posteriormente con más detalle en el capítulo 6; en la descripción de la metodología veremos brevemente algunos resultados.

5.3. Preprocesamiento

5.3.1. Normalización de la imagen.

Para que el clasificador pueda trabajar rápidamente y con buenos resultados, la imagen debe estar con la menor cantidad de información indeseable proveniente del proceso de escaneo del mapa, ya que las condiciones originales del mismo, como rupturas y manchas, no se pueden solucionar favorablemente.

El ecualizado es un proceso muy utilizado, que se realiza a través de la modificación de su histograma para acentuar la intensidad de los colores, el normalizado o estiramiento del histograma involucra un alto contraste de la imagen.

En el capítulo 4.6.3 vimos como se aumenta el contraste de una imagen, aprovecharemos estas características para mejorarla respecto a la imagen original.

Primero ensanchamos el rango del histograma un 20%, y posteriormente se recortaran para que los valores que queden entre 0 y 255 formarán la imagen normalizada.

Como se quiere estirar o ensanchar la imagen un 20%, $255 \cdot 20\% = 51$, entonces el nuevo valor máximo será $M = 255 + 51 = 306$ y el mínimo $m = 0 - 51 = -51$, aunque no se generen valores negativos.

Este proceso se realiza para cada uno de los tres colores primarios en RGB, este proceso se realiza con la ecuación 5.1, ésta es una modificación de la ecuación 4.2 que vimos en la sección 4.6.3:

$$g(x, y) = \frac{\alpha \cdot f(x, y) - \min}{\max - \min} (M - m) + m \quad (5.1)$$

- $g(x, y)$ = Imagen resultante.
- $f(x, y)$ = Imagen original transformada por la ecuación 5.2.
- α = Factor de contraste constante de la imagen resultante.
- \max = Valor de nivel de gris más grande en $f(x, y)$.
- \min = Valor de nivel de gris más pequeño en $f(x, y)$.
- M, m = Son los valores máximo (306) y mínimo (-51) respectivamente, a los cuales se quiere ensanchar el rango dinámico de la imagen $g(x, y)$.

El factor de contraste constante α que se introduce en la ecuación 5.1, es para catalizar la expansión de los valores RGB de cada pixel, tomamos a $\alpha=1.5$ como un valor adecuado para obtener los mejores resultados.

Para calcular los máximos y mínimos de $f(x, y)$, se propone utilizar las relaciones puntuales siguientes:

$$R' = \sqrt{G^2 + B^2}, G' = \sqrt{R^2 + B^2}, B' = \sqrt{R^2 + G^2} \quad (5.2)$$

Este proceso tiene la peculiaridad de que el contraste aumenta considerablemente, todos los procesos de aumento de contraste conducen a cambiar la información que está contenida en la imagen, de esta manera las relaciones de la ecuación 5.1 quedan como sigue:

$$\begin{aligned} R_N &= \frac{1.5 \cdot R - \min_{R'}}{\max_{R'} - \min_{R'}} (M - m) + m \\ G_N &= \frac{1.5 \cdot G - \min_{G'}}{\max_{G'} - \min_{G'}} (M - m) + m \\ B_N &= \frac{1.5 \cdot B - \min_{B'}}{\max_{B'} - \min_{B'}} (M - m) + m \end{aligned} \quad (5.3)$$

Donde R_N, G_N y B_N son los valores normalizados de RGB de cada pixel de la imagen respectivamente.

Una vez expandida la imagen, se recorta de manera todos los valores mayores o iguales a 255, se quedan en 255, solamente en los casos de que los tres valores calculados (R_N, G_N y B_N) sean menores a 51, entonces toman el valor de cero.



Fig. 5.6 Resultado gráfico de la normalización.

En la figura 5.6 se puede verificar el alto contraste alcanzado como resultado de la normalización realizada por este método, la imagen ecualizada (centro) fue generada con el paquete comercial (Corel Photo-Paint 9) y se toma solo para ver el contraste alcanzado no para comparar los métodos.

La información que se llega a perder en la normalización es la que queda dentro del rango que fue recortado y en los mapas es la que está contenida en las capas primarias, esto concuerda con la segunda consideración, de que el reconocimiento se debe realizar en mapas donde las líneas son información importante, es decir, dentro de las capas principales.

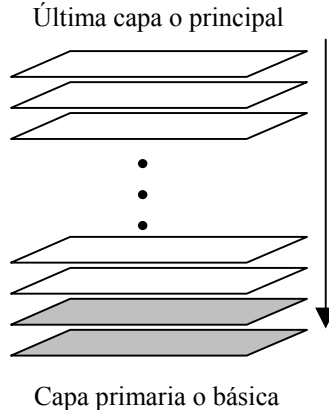


Fig. 5.7 Capas primarias de un mapa temático.

La capa principal es donde los objetos que contiene (en esa capa) no son traslapados por ningún otro objeto contenido en el mapa y la capa primaria es donde todos los demás objetos están dibujados encima.

5.4. Procesado

5.4.1. Clasificación y segmentación por color

Los clasificadores que se usarán son de tipo supervisado, ya que se considera que el usuario experto tiene que señalar un punto en el mapa que sea parte de la línea a extraer, con la finalidad de entrenar al clasificador, además de minimizar la intervención del usuario.

Después de utilizar un clasificador, pueden quedar algunos elementos en otro grupo, la gran mayoría de estos errores se logran corregir en los procesos siguientes.

En este caso particular, trabajaremos con el modelo RGB que depende de tres variables, básicamente un cubo en el espacio.

La información del mapa se analizará por cada uno de los diferentes ejes de coordenadas, así obtenemos para cada punto tres valores en los colores puros, si obtenemos la media y desviación estándar de manera independiente con cada eje, se obtendrán los rangos de los colores buscados, como si fuese otro cubo dentro de este modelo.

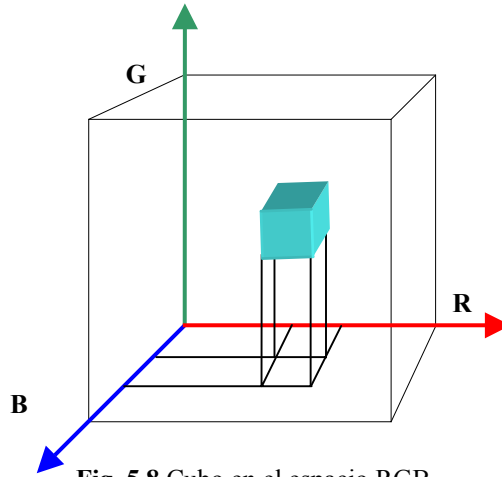


Fig. 5.8 Cubo en el espacio RGB.

De esta manera también obtendremos elementos que no pertenecen al grupo de interés, además que los colores combinados están más cargados hacia un lado del centro y no es homogénea su distribución dentro del espacio encontrado, por eso consideramos lo siguiente.

En la clasificación se utilizan tres características:

1. La distancia euclidiana entre dos puntos **a** y **b**, que tienen como coordenadas los valores puros de RGB.

$$d_{ab} = \sqrt{(R_a - R_b)^2 + (G_a - G_b)^2 + (B_a - B_b)^2}$$

Esta medida nos da como resultado una esfera en el espacio.

2. Se seleccionarán los puntos que cumplan con la media de la distancia, más/menos una N desviación estándar de la distancia misma, para algún grupo buscado.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n}} = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n d_i^2 - (\sum_{i=1}^n d_i)^2}{n(n-1)}}$$

3. La relación de orden mutua que existe entre los colores RGB del punto medio de un grupo determinado, la misma relación se debe mantener para los colores seleccionados.

Por ejemplo, si para el punto medio de la línea, su relación es:

$$G > B, G > R \text{ y } B > R \tag{5.4}$$

Entonces esta relación debe ser la misma para todos los puntos seleccionados.

Expondremos 5 clasificadores que necesitan la intervención del usuario, como son:

- Máximos y mínimos, agregando a sus vecinos.
- K-Medias con 4 tipos de valores y sus vecinos.
- K-Medias modificado y sus vecinos.
- Expansión en tres pasos.
- Búsqueda de colores.

Todos los conjuntos o grupos que se encuentran se guardan en planos paralelos, esta información nos servirá para reconstruir posteriormente la línea.

Como la clasificación es supervisada, sabemos de antemano el conjunto o grupo al que pertenece la línea, si son más de un grupo, se unen y se colocan en un solo plano paralelo, al grupo de interés se le aplican las técnicas de postprocesado.

5.4.2. Máximos y mínimos, agregando a sus vecinos

Este procedimiento es semiautomático, donde el operador tiene que señalar o dar la posición de referencia a un punto dentro de la línea, es recomendable que sea en las partes más amplias de predominancia del color seleccionado, como son las intersecciones de las mismas.

En esta posición se forma un recuadro de 61x61 donde el punto seleccionado queda el centro del recuadro, dentro del cual se hará un muestreo estadístico, de esta manera se obtiene su media de cada uno de los valores RGB y la desviación estándar de todas las distancias al centro de cada grupo; en el detalle de la figura 5.9 se muestra esta posición.

Procedimiento:

Para seleccionar el punto se tomó una intersección de la línea a extraer, en esta caso el río mostrado en la figura 5.9, no es necesario que se encuentren los demás objetos a discriminar dentro del recuadro de entrenamiento.

Una vez seleccionado un punto en la línea de interés, el proceso siguiente es determinar que valores de los pixeles (en RGB) están más cerca del seleccionado, ignorando por consecuencia los valores más alejados, como podría ser el fondo de la imagen.

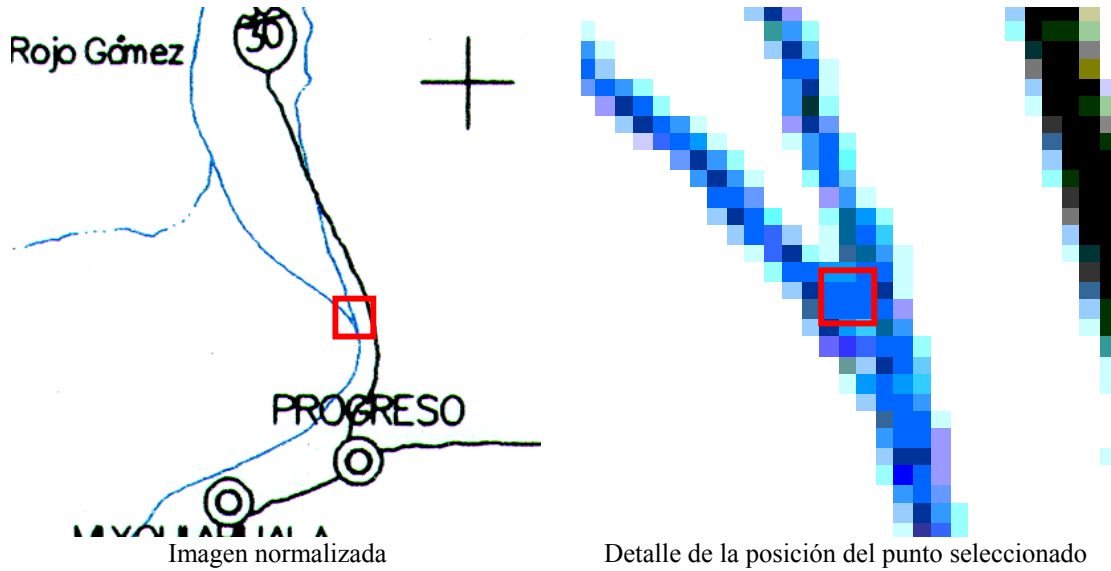


Fig. 5.9 Posición del punto seleccionado en la línea de interés.

En la tabla 5.1 se muestran los datos obtenidos de la inspección del recuadro de entrenamiento del clasificador, estos datos son los valores en el formato RGB.

Dato	Coordenada	R	G	B
1	0, 0	144	208	160
2	1, 0	240	255	255
3	2, 0	255	255	255
...				
1861	30, 30 (centro)	144	224	176
...				
1679	39, 41	255	255	255
1680	40, 41	223	255	224
3721	60, 60	240	255	255

Tabla 5.1 Muestra de datos de entrenamiento

De cada una de las filas con valores RGB se realiza una distancia euclidiana al centro del recuadro. De las distancias, la máxima es el valor más alejado del centro señalado, con los valores que se consigue obtener la máxima distancia se forma el centro de otro conjunto o grupo.

Se realiza de nuevo el cálculo de las distancias tanto al centro señalado como al centro encontrado (el segundo grupo), y de cada par de distancias se toma la mínima, de las cuales se toma la máxima de las mínimas encontradas y los valores que forman esta distancia máxima será el centro del tercer grupo, así sucesivamente hasta encontrar cuatro grupos.

Posteriormente se reagrupan los valores al centro más cercano, tomamos solamente el primer grupo (el de nuestro interés) y se calcula su media de los valores y desviación estándar de las distancias de los mismos

	R	G	B
Valor del centro de la línea de interés	144	224	176
Media	64.6	141	116
Desv. Estand. Media	30.6	26.3	23.2
Distancia Promedio	48.8		
Desv. Estand. Distancia	23		

Tabla 5.2 Muestra los resultados del entrenamiento del clasificador

En este ejemplo, todos los puntos que cumplen con la tabla 5.2 son tomados en cuenta para los siguientes procesos y los demás valores de los grupos 2 y 3 se guardan en un plano paralelo.

En los datos anteriores observamos que el valor $G = 141$ es mayor de todos, sigue $B = 116$ y por último $R = 64.6$, entonces, todos los valores que están seleccionados deben cumplir con:

$$G > B, G > R \text{ y } B > R$$

Posteriormente se agregan sus 8-vecinos cuyos valores pertenezcan al grupo más cercano a la línea de interés, con las siguientes características.

- Se toman los puntos que estén cerca a la media calculada de la línea de interés, en una distancia promedio más dos desviaciones estándar de las distancias.
- Se toman los puntos que estén a los dos grupos más cercanos a la línea de interés, en una distancia promedio más una desviación estándar de las distancias de su propio grupo.

Resultados de este procedimiento:

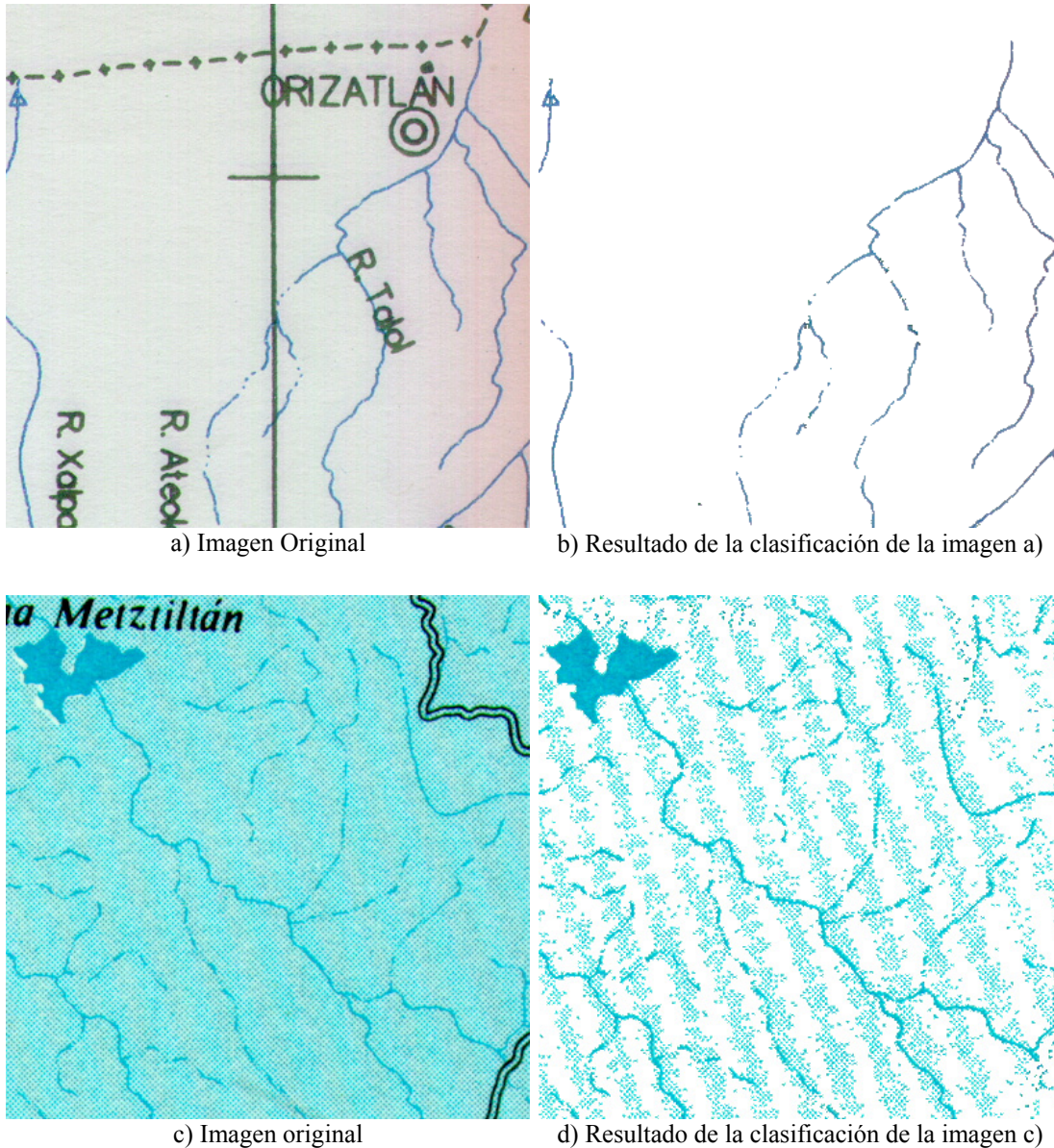


Fig. 5.10 Resultados del proceso de clasificación con Máximos y Mínimos

En las imágenes de la figura 5.10 b) y d) el resultado es bastante satisfactorio, con algunas rupturas en las líneas y puntos no detectados. En la región azul con líneas de ríos azules, se logra detectar los dobleces del mapa en papel.

En la figura 5.11 a) vemos que esta dividida en dos regiones de diferente color, líneas verdes en una región amarilla y líneas en color azul en una región azul, esta diferencia en el cambio de tonalidad se deben a la mezcla de colores con su entorno.

En los siguientes dos resultados de este procedimiento con más de un color en la trayectoria de la línea, para clasificar la figura 5.11 a) se toma una muestra de la línea en la región amarilla y de manera similar otra en la región azul.

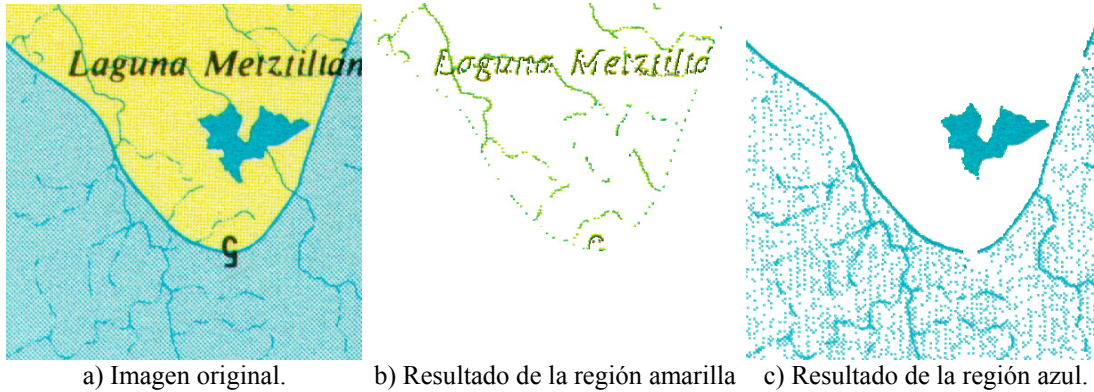


Fig. 5.11 Resultados del proceso de clasificación con Máximos y Mínimos de una imagen con regiones en diferentes colores.

En la figura 5.11 b) donde se clasificó en la región amarilla, aparece la orilla del texto porque contiene el color buscado. En la figura 5.11 c) aparece la línea divisoria entre las regiones que es también del mismo color que la línea de interés.

En estas imágenes nos podemos dar cuenta que la intervención del usuario dependerá de la cantidad de colores de regiones en donde se encuentre la línea de interés.

5.4.3. K-Medias con 4 tipos de valores y sus vecinos

Como se ha visto, la tonalidad del color de la línea depende de la región de donde se desplace ésta. El siguiente método se desarrolla tomando en cuenta los colores de los diferentes objetos que se presentan en el mapa, como son:

- Líneas
- Orilla de las líneas
- Texto u otros objetos
- Fondo

El procedimiento es semiautomático, el operador tiene que señalar los cuatro tipos de objetos diferentes para obtener sus valores, el muestreo estadístico se hace en la misma ventana de 61x61 en donde se encuentra el valor de la línea de interés, la orilla de la línea, texto u otros objetos y el fondo, como en la imagen siguiente.

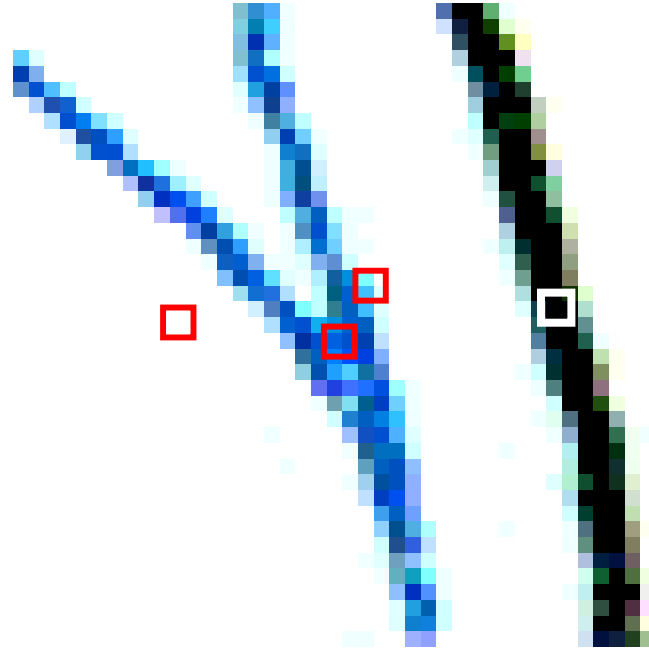


Fig. 5.12 Detalle de la posición de los cuatro puntos seleccionados

En este proceso se utilizan los cuatro tipos de valores señalados en cada uno de los colores puros de RGB (entrada), el proceso de K-Medias se termina hasta detectar que no existen cambios significativos en los valores de los centroides.

En la tabla 5.3 se expone un ejemplo de valores de entrada, señalados en la figura 5.12 y valores de salida que son los que pertenecen a los centroides encontrados.

	Valores de entrada			Valores de los centroides resultantes		
	R	G	B	R	G	B
Línea	20	107	211	82.35	86.88	158.8
Orilla	121	170	253	166	161.1	236.4
Texto	11	42	48	19.15	29.6	44.23
Fondo	248	248	236	235.7	239.2	219.7

Tabla 5.3 Muestra ejemplo de valores de entrada y salida del proceso.

En este proceso también se complementa haciendo la segunda selección de valores que cumplan con el orden RGB (ver ecuación 5.4, pag. 71) del centroide de la línea de interés.

Con estos valores se analiza a cada valor RGB de los pixeles que se encuentran en la imagen, se verifica a que intervalo de valores pertenece, intervalo de la línea, orilla, etc., primero se extraen los valores RGB de los pixeles que pertenecen a la línea.

Además, se agregan pixeles que son vecinos al primer proceso, de donde se extrajeron los valores la línea de interés, con la siguiente restricción:

- Se toman los puntos que estén cerca a la media calculada de la línea de interés, en una distancia promedio más dos desviaciones estándar de las distancias.
- Se toman los puntos que estén a los dos grupos más cercanos a la línea de interés, en una distancia promedio más una desviación estándar de las distancias de su propio grupo.

Resultados de este procedimiento:

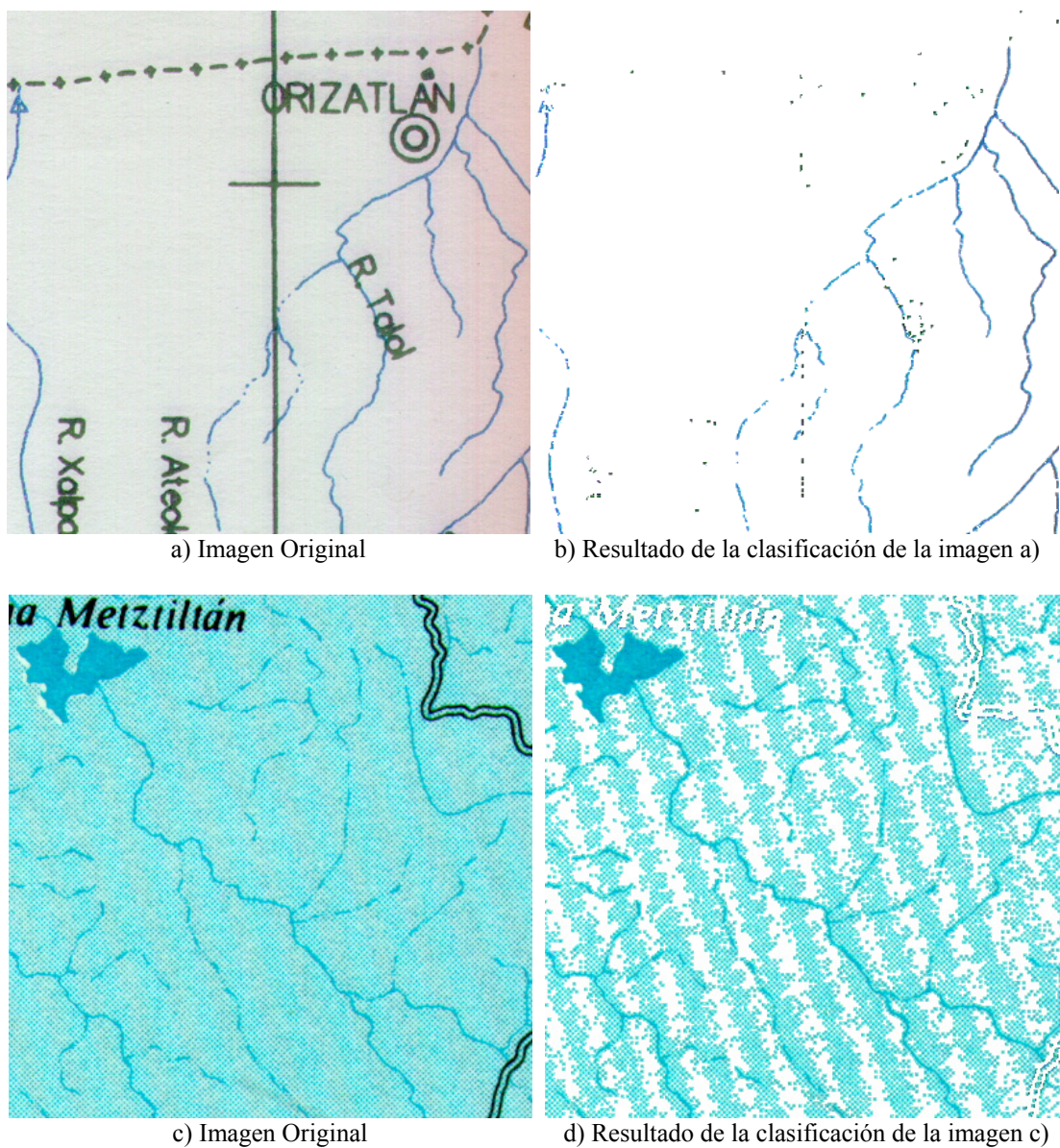


Fig. 5.13 Resultados del proceso de clasificación con K-Medias.

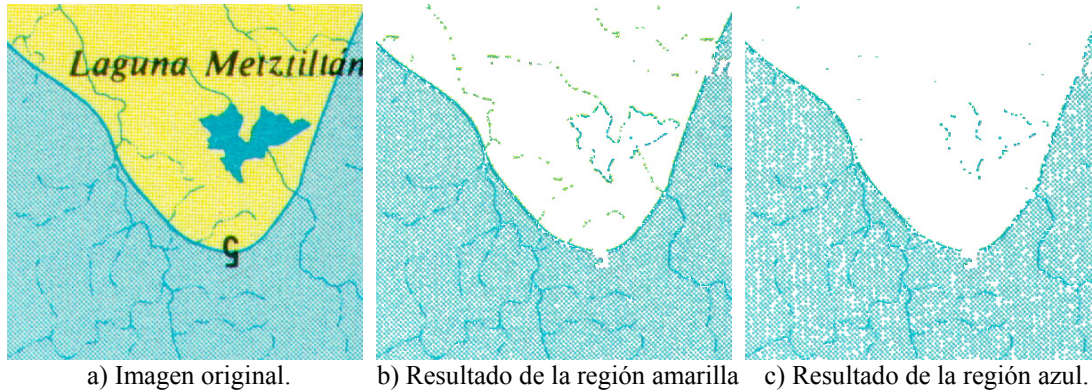


Fig. 5.14 Resultados del proceso de clasificación con K-Medias de una imagen con regiones en diferentes colores.

5.4.4. K-Medias modificado y sus vecinos

Este procedimiento es semiautomático, el operador tiene que tomar una muestra de valores de la línea de interés.

De la misma manera que en los procesos anteriores, al momento de tomar la muestra se realiza un muestreo estadístico en un recuadro de 61×61 con el punto de interés en el centro.

En el clasificador K-Medias se le tenía que dar la cantidad de grupos a encontrar, en este procedimiento las deberá encontrar por sí mismo.

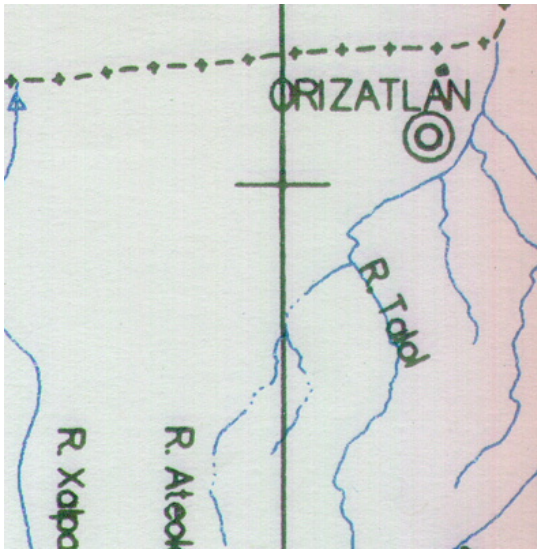
Este método es una mezcla de los dos clasificadores anteriores, se le da un punto sobre la línea selecciona y posteriormente encuentra el segundo grupo por el método de Máximos y Mínimos, luego recalculan sus centroides como lo hace K-Medias y posteriormente se encuentra el tercer elemento como lo hace Máximos y Máximos, y así sucesivamente.

Procedimiento:

Se utilizó la misma ventana que en el proceso anterior. Se generan cuatro grupos de valores de píxeles en formato RGB, el primero es para la línea señalada previamente por el usuario, de tal manera que el resultado será de seleccionar valores que estén el primer grupo y en alguno de los dos grupos restantes.

La intención de este procedimiento es evitar la intervención excesiva del usuario al emplear los clasificadores, conservando las ventajas del método de K-Medias.

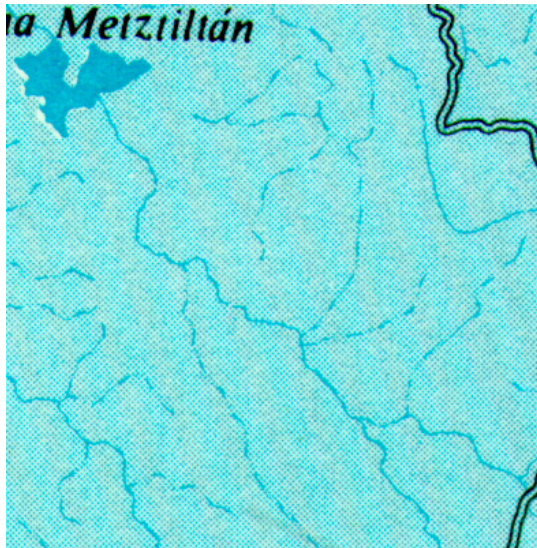
Resultados de este procedimiento:



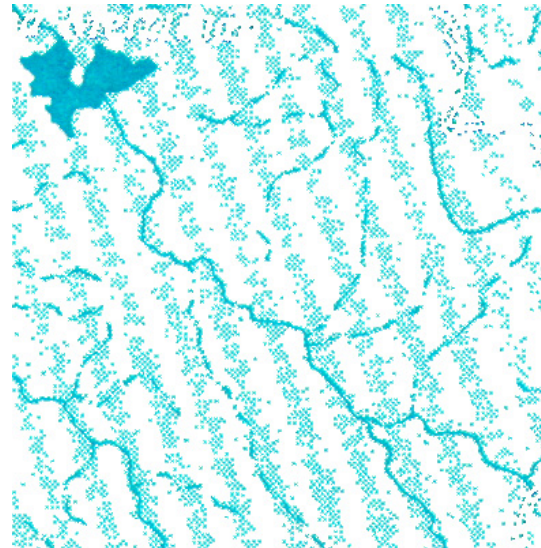
a) Imagen original



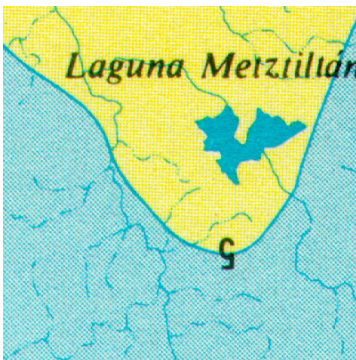
b) Resultado de la clasificación de la imagen a)



c) Imagen original



d) Resultado de la clasificación de la imagen c)



e) Imagen original.



f) Resultado de la región amarilla



g) Resultado de la región azul.

Fig. 5.15 Resultados del proceso de clasificación con K-Medias Modificado de una imagen con una o más regiones.

5.4.5. Expansión en tres pasos

Este proceso también es semiautomático, el operador señala la línea del río de la misma manera como se ha hecho en los métodos anteriores.

En este método consideramos la condición de que el río fue plasmado en el mapa de un solo tono de color, pero en el proceso de escaneo el color cambia de tonalidad en su trayectoria al mezclarse con del fondo y los demás objetos presentes en el mapa raster.

La idea de esto es seguir a la línea del río con sus cambios de tonalidades, con un cierto grado de libertad.

En este proceso se toma solamente un punto de la línea, con el centro y sus 8-vecinos se obtiene la media y desviación estándar por cada color de RGB, en esta ocasión no se utiliza la distancia euclidiana sino solamente la desviación estándar de los colores; con esto se realizan varias búsquedas con las siguientes condiciones:

1. El método es muy sensible a la selección correcta del punto en la línea, por lo cual da mejores resultados cuando la máscara de 3x3 esta contenida completamente dentro de la línea.
2. Se analizan todos los valores de los pixeles de la imagen que se encuentren dentro del rango de la media de la muestra ± 2.0 desviaciones estándar y se clasifica por el orden RGB como en las clasificaciones anteriores, éstas se guardan en un plano paralelo.
3. A partir de los valores en el segundo plano, se analizan sus 8-vecinos de cada pixel sobre plano principal, si alguno de estos valores se encuentra en el rango del valor de ése pixel ± 1.5 desviaciones estándar se guardan en un tercer plano, además se agregan los pixeles el segundo plano.
4. Se repite el proceso con los valores del tercer plano, tomamos el valor de cada pixel ± 1.0 desviaciones estándar e investigamos si alguno de los 8-vecinos del primer plano se encuentra en el rango señalado, en los casos que cumplan con esta condición se guardan en un plano resultante al que se agregan los del plano anterior.

Se parte con un rango amplio como es 2.0 desviaciones estándar, posteriormente se agregan 1.5 desviaciones estándar más, así que en el caso extremo se tienen 3.5 desviaciones estándar, por último se agregan 1.0 desviaciones estándar, que dan como resultado en caso extremo de 4.5 desviaciones estándar.

En la figura 5.16 vemos de forma esquemática el procedimiento antes descrito, la curva simula la trayectoria de la línea que cambia de tonalidad conforme se desplaza por la imagen.

Al seleccionar un punto contenido completamente en la línea no es garantía que esté dentro de la media de toda la imagen, sobre todo si la muestra consta de un tamaño de 3x3 de una imagen de 2,500x3,000.

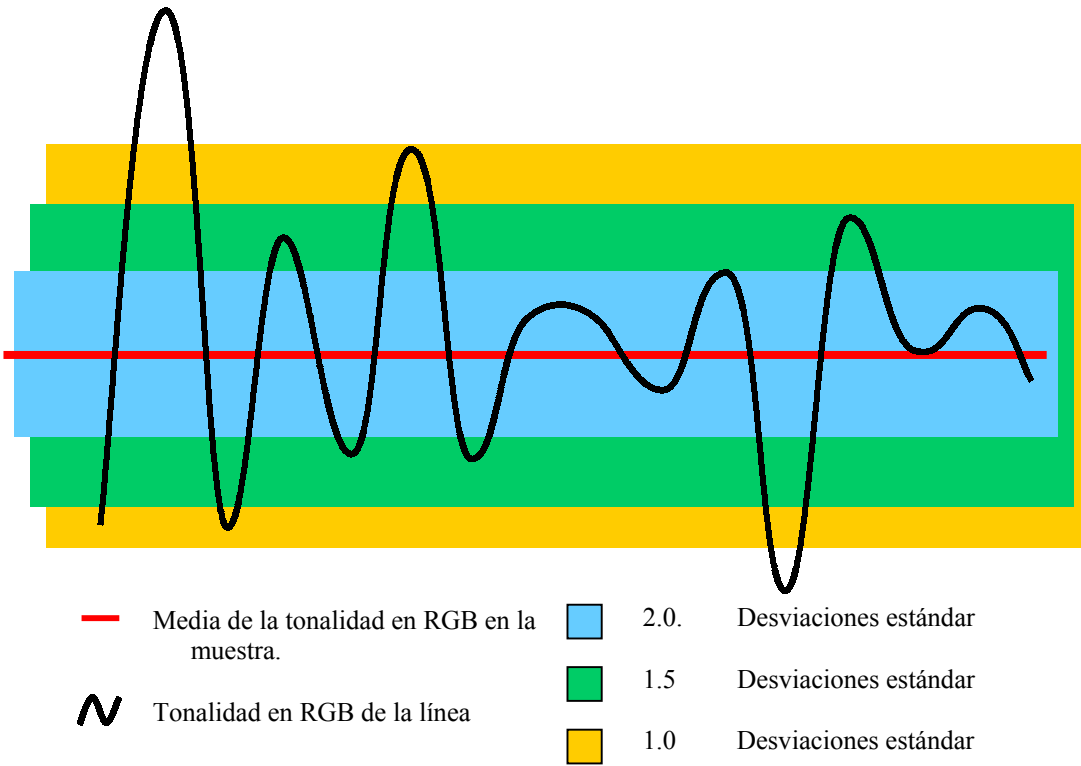
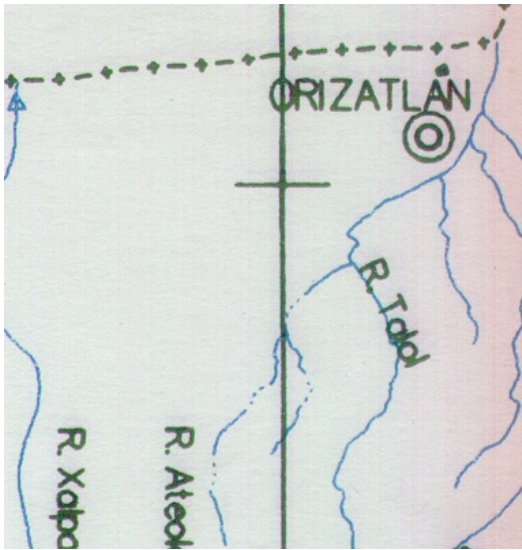
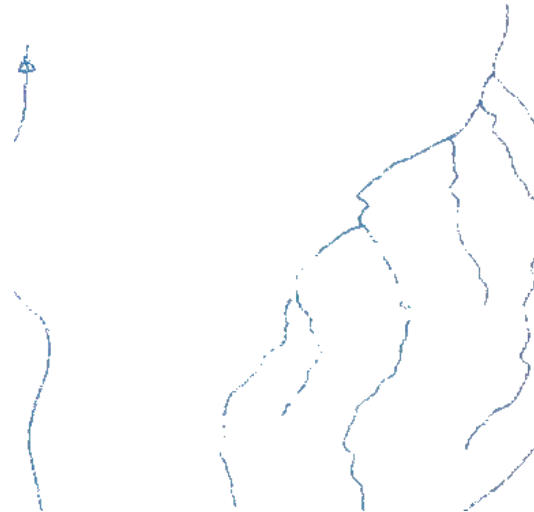


Fig. 5.16 Descripción gráfica del método de Expansión en 3 pasos.

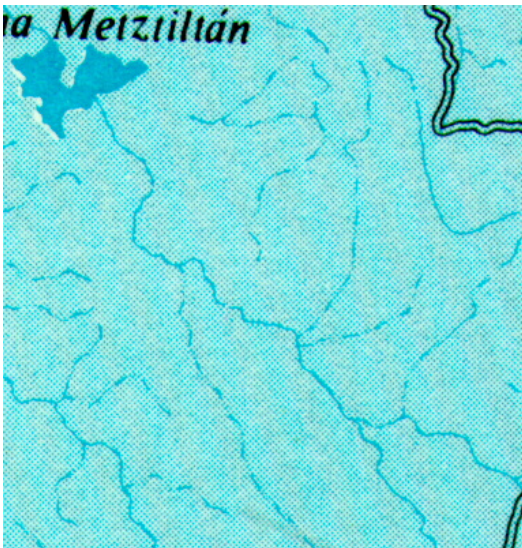
Resultados de este procedimiento:



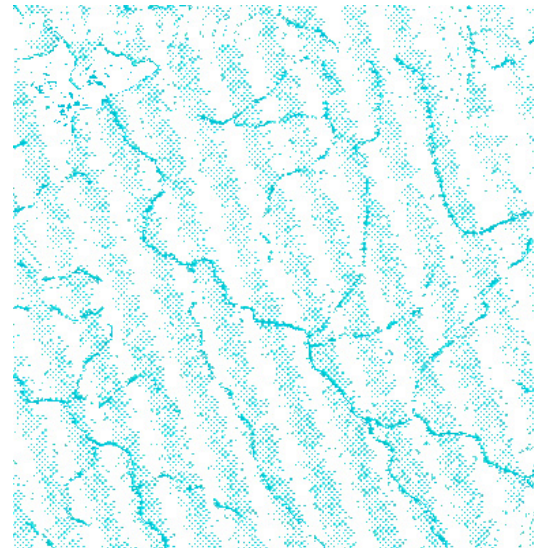
a) Imagen original



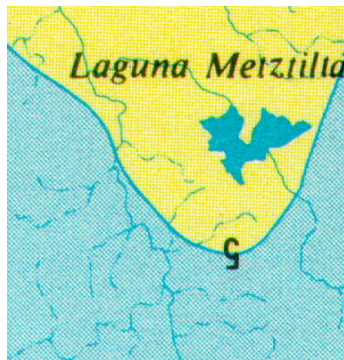
b) Resultado de la clasificación de la imagen a)



c) Imagen original



d) Resultado de la clasificación de la imagen c)



e) Imagen original



f) Resultado de la región



g) Resultado de la región azul.

Fig. 5.17 Resultados del proceso de clasificación con Expansión en 3 pasos de una imagen con una o más regiones.

5.4.6. Búsqueda de colores

Este proceso también es semiautomático, aquí se considera la característica de que las líneas de los ríos son plasmadas en los mapas con algunos colores específicos.

De los 255^3 colores diferentes que puede contener una imagen en color, la reducimos a 3^3 , es decir, de 255 niveles de intensidad por componente se cambian a 3, donde cada unidad o sub-cubo contendrá un conjunto limitado de niveles de intensidad.

En la figura 5.18 de abajo podemos observar la distribución de los colores en el cubo de $3 \times 3 \times 3$ unidades, nuestra intención es que el punto seleccionado por el usuario sea el centro de un sub-cubo, como el ejemplificado en la figura 5.19.

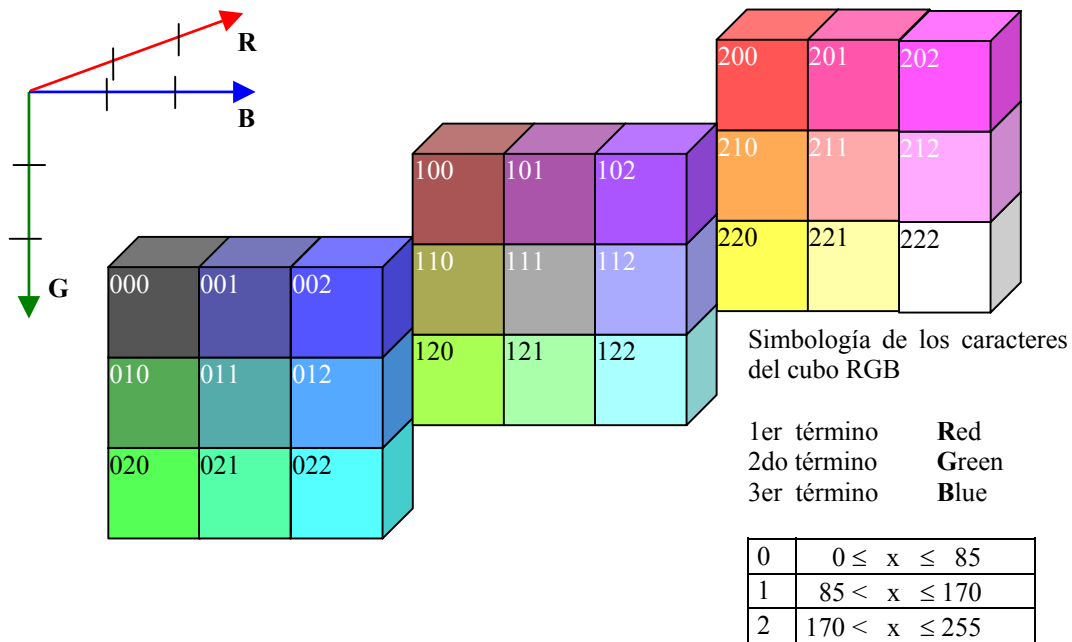


Fig. 5.18 Distribución de los colores en el cubo RGB

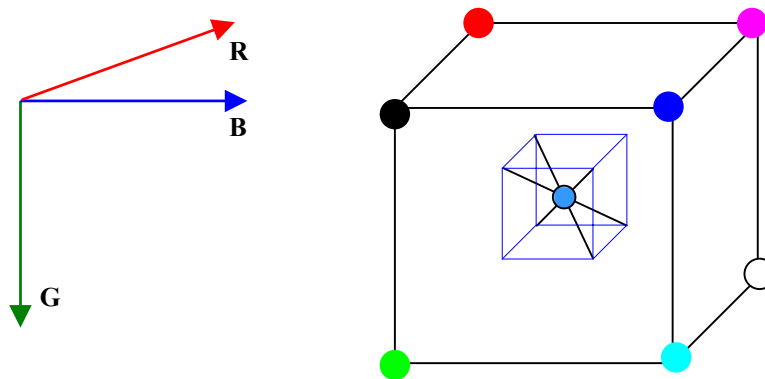


Fig. 5.19 Ejemplo de un subcubo dentro del modelo RGB

El proceso es el siguiente, seleccionamos un punto en la línea de interés, en cada color RGB tomamos ± 42 unidades, que es precisamente la mitad del sub-cubo. De este resultado se buscan a los 8-vecinos que están en la imagen original con la condición que tengan el mismo orden RGB que el punto seleccionado, este nuevo resultado se une al plano anterior.

Resultados de este procedimiento:

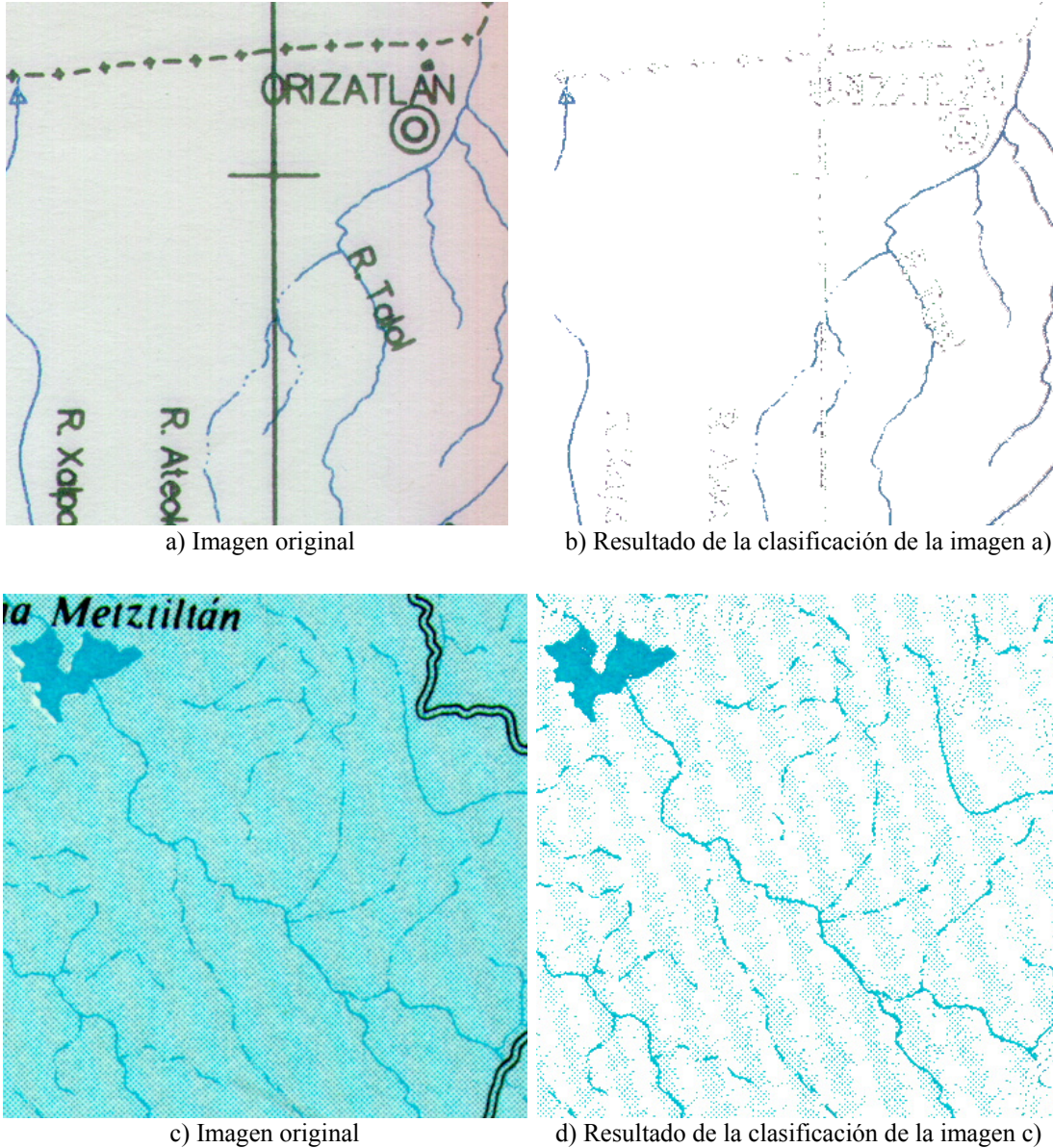


Fig. 5.20 Resultados del proceso de clasificación con Búsqueda de colores de una imagen.

5.5. Postprocesamiento

Después de preparar a la imagen y realizar la clasificación por alguno de los métodos anteriormente presentados, se prosigue a arreglar las líneas para conseguir mayor continuidad y reducir el grosor al mínimo evitando información redundante para el proceso de reconstrucción. En esta etapa se incluyen filtros para reducir el ruido generado durante el proceso de clasificación.

El siguiente diagrama de flujo nos muestra el conjunto de procesos que se realizarán a la imagen, que se explican con detalle posteriormente.

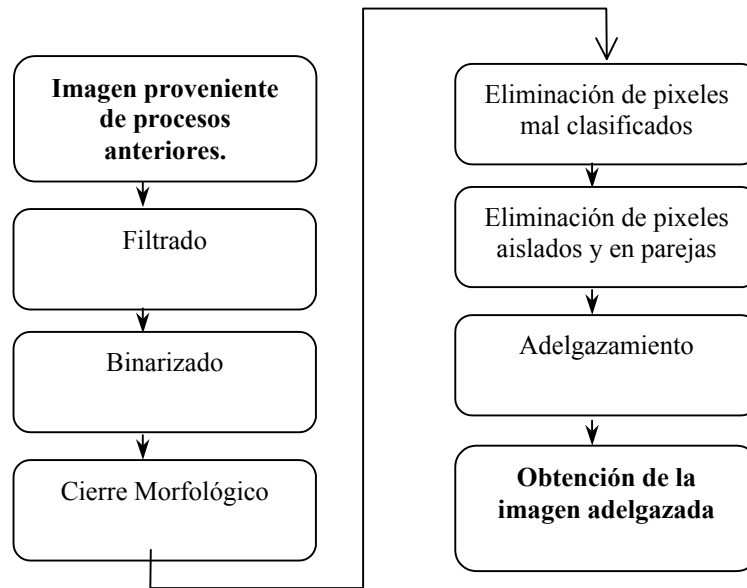


Fig. 5.21 Diagrama de flujo del postprocesamiento.

5.5.1. Imagen proveniente de procesos anteriores

La imagen que aquí se recibe puede ser cualquiera de los resultados con los métodos de clasificación descritos anteriormente, el que mejor resultado proporcione al usuario dependiendo del mapa en cuestión.

5.5.2. Filtrado

El filtro que se aplica está en función de la desviación estándar de los 8-vecinos del pixel que se analiza en ese momento y del pixel seleccionado en la línea de interés (selección que se realizó para el proceso de clasificación), de la manera siguiente:

- El valor del pixel seleccionado se mantiene constante durante este proceso, además es importante mencionar que las líneas deben tener un ancho mínimo de 2 píxeles para que pueda ser aspirante a ser considerado en la imagen resultante.
- Los valores de los píxeles a analizar son todos los contenidos en la imagen; de un punto a analizar se toman los 8-vecinos, de éstos se calcula para cada color RGB la desviación estándar, sin el centro de la máscara de 3x3.
- Con el valor en RGB del punto seleccionado como centro del rango cuyo radio esta dado por la desviación estándar $\sigma_{\text{Analizado}}$ calculada, se verifica si el punto analizado pertenece a este rango, de ser así, permanece en la imagen filtrada, el resto será eliminado, que de forma esquemática se aprecia en la figura 5.22.

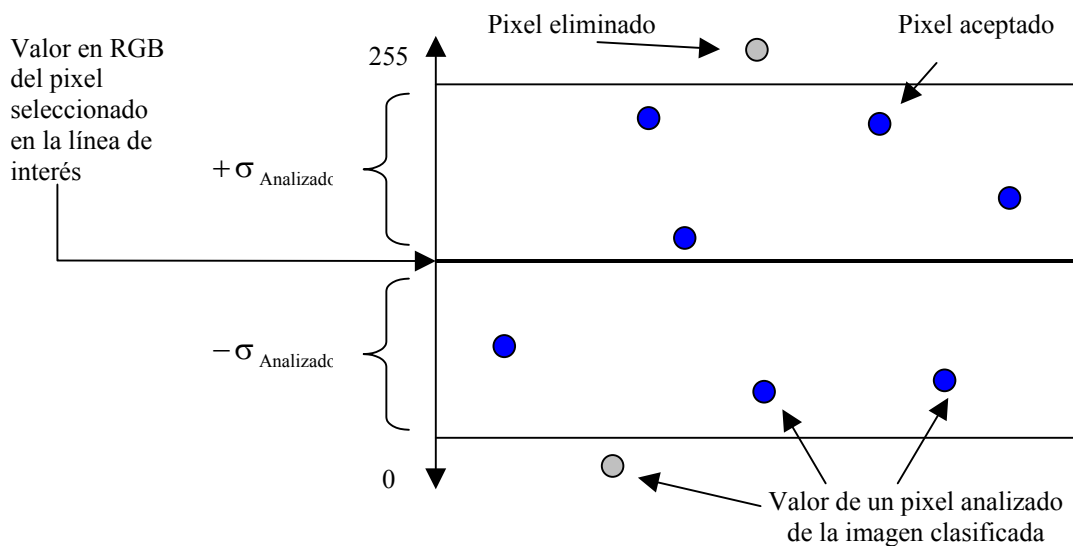


Fig. 5.22 Descripción gráfica del proceso de filtrado

Este filtro se utiliza en algunos tipos de mapas raster clasificados, sobre todo cuando las líneas de interés se mezclan con fondo del mismo color, ver figura 5.20 c).

5.5.3. Binarizado

El binarizado de la imagen consiste en cambiar el valor de la intensidad de los píxeles que son diferentes al fondo (blanco) a valores de intensidad cero (negro), así tendremos solo dos posibles valores, negro y blanco (cero y uno), después de este proceso no distinguiremos las líneas de nuestro interés con los píxeles clasificados no deseados.

5.5.4. Cierre Morfológico

Cómo se ha visto, la dilatación expande a la imagen y la erosión la contrae, de manera similar la apertura generalmente suaviza el contorno de una imagen, rompe istmos estrechos y elimina protuberancias, por su lado el cierre también tiende a suavizar las secciones de contornos, pero en oposición a la apertura, generalmente fusiona separaciones estrechas y entrantes delgados y profundos, elimina pequeños huecos y rellena agujeros del contorno, como se observa en la figura 5.23.

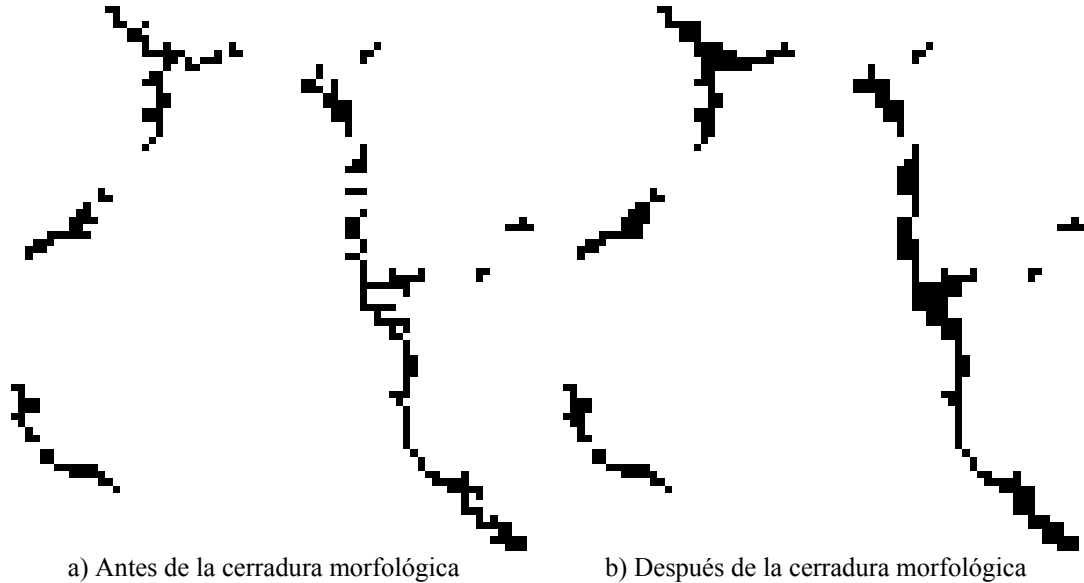


Fig. 5.23 Imágenes comparativas con y sin cierre morfológico.

Las máscaras que se utilizaron son las más pequeñas posibles, con la finalidad de no unir líneas cercanas que deben mantenerse separadas.

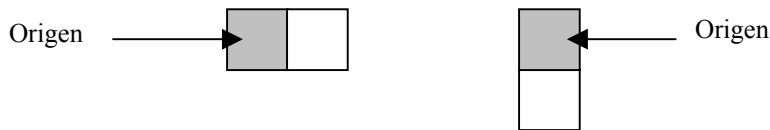


Fig. 5.24 Máscaras utilizadas para el cierre morfológico.

Como se mencionó anteriormente, la idea es tener a las líneas en las mejores condiciones para el esqueletizado, que se describirá con detalle más adelante, como se puede observar en las dos imágenes comparativas de la figura 5.25, los huecos se rellenan y en algunos casos se unen las secciones de líneas separadas por una distancia hasta por dos píxeles.

En la figura 5.25 se presentan las mismas imágenes después del proceso de esqueletizado, aquí se puede observar las ventajas de la cerradura, donde, tenemos a las líneas mucho más limpias para el proceso de vectorizado.



Fig. 5.25 Importancia del cierre morfológico.

5.5.5. Eliminación de píxeles mal clasificados

Durante el proceso de clasificación existen puntos que están en el límite del conjunto de valores que estamos buscando, estos píxeles pueden no pertenecer a las líneas de interés, después de aplicar la cerradura, podemos eliminarlos si tomamos como referencia al conjunto de píxeles que están en el plano paralelo, es decir, donde están el resto de objetos y orillas de la línea que no fueron seleccionados en el proceso de clasificación.

En este proceso buscamos en la imagen clasificada píxeles que no tengan como 8-vecinos a elementos contenidos en el plano paralelo, de tener algún 8-vecino se elimina.

Este tipo de filtro se utiliza cuando la imagen contiene objetos más oscuros que la línea de interés y el fondo no es del mismo color que la línea buscada, por ejemplo texto.

5.5.6. Eliminación de píxeles aislados y en parejas

Como resultado del proceso de clasificación y filtrado nos quedan píxeles aislados, podemos eliminarlos, sin embargo pueden pertenecer a la trayectoria de algún río, que posteriormente recuperaremos.

En este proceso se realiza una búsqueda espacial de los píxeles aislados, es decir, rodeado del fondo de la imagen, se realiza con la máscara siguiente.

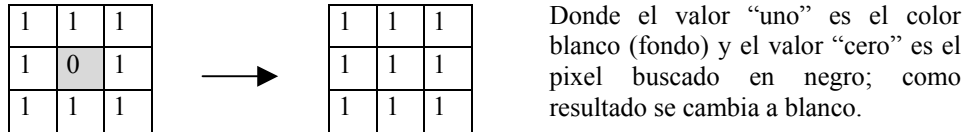


Fig. 5.26 Máscara para la eliminación de píxeles aislados.

Al utilizar la máscara, lo que deseamos es encontrar las coincidencias espaciales de la máscara completa con una sección de la imagen del mismo tamaño, comúnmente son de tamaño 3x3.

Cuando encontramos la coincidencia buscada se realiza una operación determinada, en este caso, cambiaremos el color del pixel del centro.

En el caso que un pixel tenga a un solo 8-vecino, movemos al centro a la posición del pixel y buscamos nuevos vecinos, para asegurarnos que están aislados del resto de las líneas detectadas, en caso de que no tenga nuevos vecinos será eliminado.

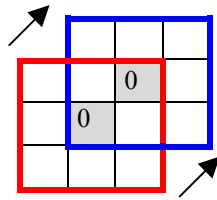


Fig. 5.27 Máscara para la eliminación de píxeles en parejas.

Este tipo de filtro no es conveniente utilizarlo cuando la clasificación ha dejado a las líneas muy discontinuas.

5.5.7. Adelgazamiento

Esta etapa forma parte del área de visión por computadoras para reducir el ancho de las líneas encontradas, a través de operadores morfológicos.

La transformación morfológica al azar (hit or miss) es una herramienta básica para la detección de formas, en esta ocasión la utilizaremos para encontrar el esqueleto de la línea.

Detectaremos las orillas de la línea y se lo restaremos de la imagen original hasta que el resultado de la resta sea un conjunto nulo.

En las máscaras de la figura 5.28, los valores marcados con “0” son valores de los pixeles en color negro, de manera similar, los marcados con “1” son valores de color blanco que es el fondo de la imagen, los valores marcados con “X” no importa cual sea el valor del pixel.

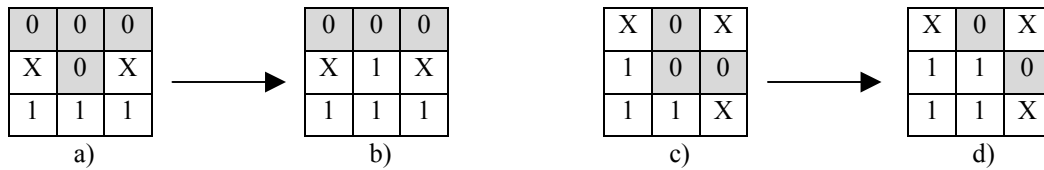


Fig. 5.28 Máscaras para el adelgazamiento morfológico.

Cuando la máscara de la figura 5.28 a) coincida completamente con una posición determinada en la imagen, el valor del pixel del centro será cambiado al valor “1”, como la figura 5.28 b).

De la misma manera cuando la máscara de la figura 5.28 c) coincida completamente con una posición determinada en la imagen, el valor del pixel del centro será cambiado al valor “1”, como la máscara de la figura 5.28 d).

Estas dos máscaras de la figura 5.28 corresponden una misma, nada más que una esta girada respecto a la otra.

El proceso se realiza con ésta máscara que se girará 45° respecto a la posición anterior hasta obtener 8 posiciones diferentes en total, como en la figura 5.29.

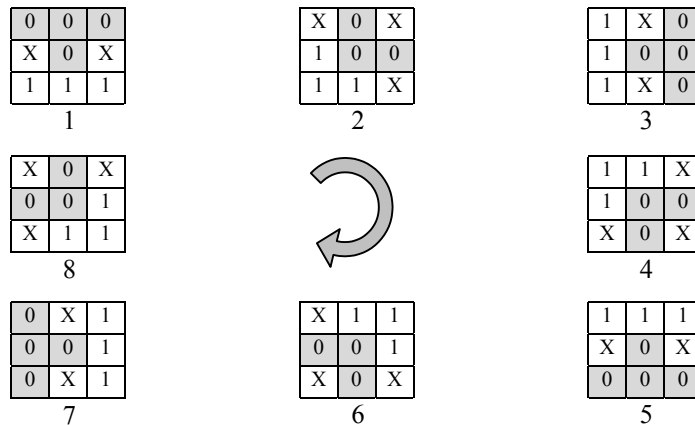


Fig. 5.29 Rotación de las máscaras para el adelgazado.

Cuando la máscara 1 realice todos los cambios pertinentes en la imagen, el resultado será procesado por la máscara 2, y así sucesivamente hasta completar las ocho posiciones diferentes, una vez logrado esto, el proceso se deberá repetir iterativamente hasta que no se realicen cambios. La línea es cinco veces más ancha de lo normal al ser digitalizada a 500 ppp, por esta razón es suficiente realizar solamente cinco iteraciones para dejar a las líneas de grosor de un pixel en la mayor parte de la imagen.

Resultados del proceso de postprocesado:

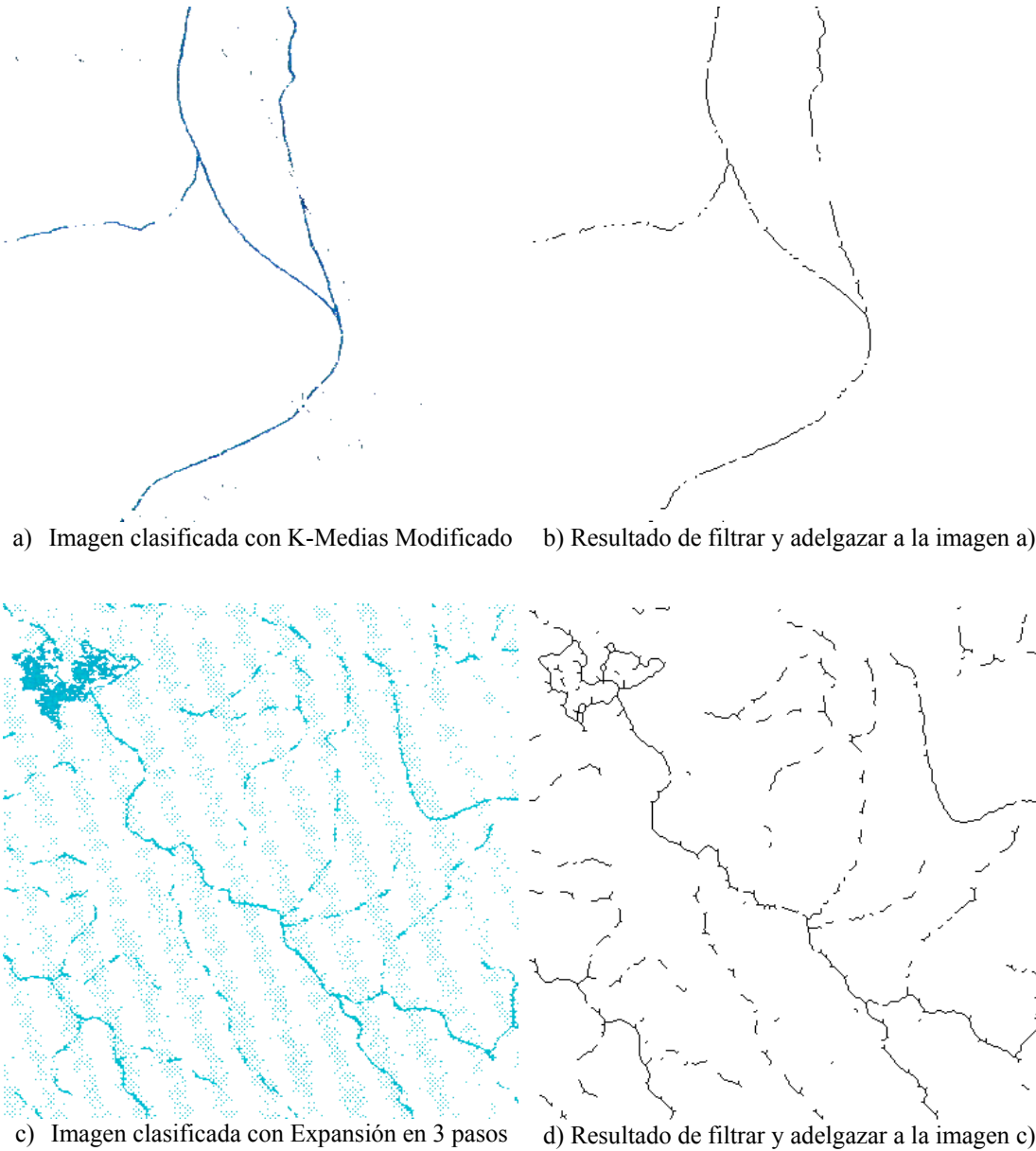


Fig. 5.30 Resultados del proceso de adelgazamiento.

5.6. Reconstrucción

En los resultados anteriores, la mayoría de los casos encontramos tramos o partes de líneas, y en otros la ausencia de éstos, sin embargo toda esta información es necesaria para tener la trayectoria de las líneas completas.

5.6.1. Búsqueda de extremos en líneas

Los extremos de las líneas son importantes, porque a partir de ellos podremos unir los tramos de líneas en el caso que estén cercanas.

Para que un punto sea extremo debe cumplirse cualquiera de las dos condiciones:

1. El pixel de la línea que se está analizando debe tener un solo 8-vecino.
2. Si son dos vecinos, entonces los vecinos deben ser vecinos entre sí.

La búsqueda se realiza con la consideración que pueden ser dos vecinos los que se encuentren, un caso particular es cuando es uno solo, se utiliza una máscara de 3x3 rotada como se ve en la figura 5.31.

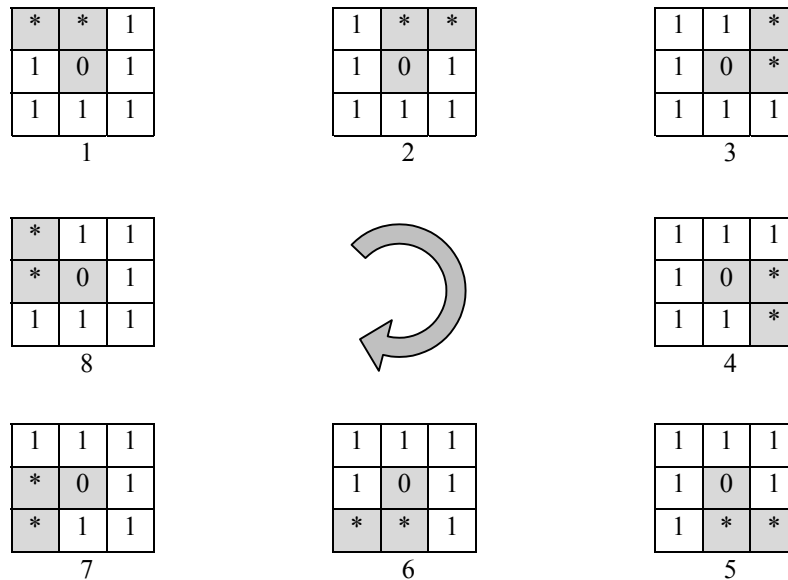


Fig. 5.31 Rotación de la máscara para buscar puntos extremos.

Las posiciones marcadas con un asterisco “*” pueden ser uno o los dos pixeles con valor cero.

Si un punto dado cumple con cualquiera de las 8 posiciones de esta máscara, entonces es un punto extremo y se marca con un color diferente (rojo) al resto de los pixeles contenidos en las líneas (gris) para que puedan ser detectado posteriormente.

5.6.2. Creación de listas

Construiremos listas (segmentos de líneas) con conjuntos de pixeles que están relacionados con la característica de que son 8-vecinos entre ellos, todos los pixeles clasificados hasta ahora se agregarán a listas, y se formarán tantas listas como sean necesarias.

Para crear las listas, tomamos durante el barrido espacial de la imagen el primer pixel que encontremos y lo agregamos a una tabla de una base de datos, esta tabla esta relacionada a sí misma, para poder revisar que los datos se agreguen una sola vez.

El proceso que se sigue es verificar que elementos de la tabla no están marcados como revisados, para revisarlos y marcarlos, el proceso de revisar es verificar los 8-vecinos del pixel en cuestión, para encontrar nuevos pixeles y a su vez integrarlos a la tabla en caso que no se encuentren en ella, sin marcarlos como revisados, ver ejemplo en la tabla 5.4.

Una vez que se terminó de revisar los elementos que están en la tabla, se continúa la búsqueda espacial sobre la imagen hasta encontrar otro pixel cuyas coordenadas no estén en la tabla, se realiza el mismo procedimiento, cuantas veces se reanude la búsqueda espacial el contador del número de lista se incrementará.

Coordenada X	Coordenada Y	Marca de revisado	Número de lista	Punto extremo	Unida a la coord_X	Unida a la coord_Y	Fue unida
...							
50	205	*	15				
51	205	*	15	False	47	201	*
...							
45	200	*	200	True			
46	201	*	200				
47	201	*	200	False	51	205	*
...							

Tabla 5.4 Tabla de la base de datos referenciada a la imagen.

Durante el recorrido en la imagen se encontraran los puntos extremos que fueron marcados con color rojo (ver sección 5.7.1), a estos puntos se marcan en la tabla de la base de datos con un “True” para saber que a ese punto se le debe buscar un candidato a unirse. Cuando se le encuentre un candidato se cambiará a “False”

5.6.3. Búsqueda de candidatos

Después de que se agregaron todos los puntos de la imagen a la tabla de la base de datos comienza el proceso de buscar otro punto extremo para unirse a una lista determinada, que es localizar al punto que se encuentre más cerca de éste, por lo tanto el punto extremo candidato deberá estar a una distancia mínima en caso de competir con otros puntos extremos dentro un umbral, se propone para este umbral de 20 pixeles máximo, que puede variar dependiendo de la cercanía de alguna línea paralela que pueda distorsionar la información.

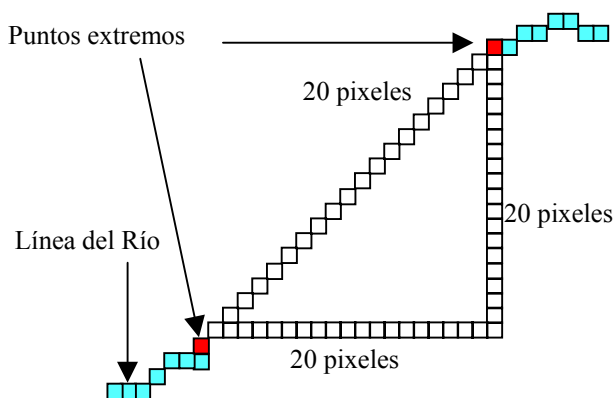


Fig. 5.32 Distancia máxima para encontrar candidatos a un determinado punto extremo.

Una vez encontrado otro punto extremo de otra lista como candidato, se verifica que la línea recta que unirá a los puntos no corte o “toque” ninguna de las listas presentes.

Además se verifica que los ángulos que formará la línea recta que unirá a los puntos extremos no sean mayores de 45° en caso máximo 75° entre ellos.

En caso de estar libre la trayectoria y estén dentro de los ángulos permitidos, se trazará una línea recta entre los puntos, la forma de esta línea es solo por simplificación, puede interpolarse de varias maneras.

Al terminar el proceso de unión, las dos listas compartirán en la tabla de la base de datos el mismo número de lista a la que pertenece el punto extremos unido. Con la finalidad de que no se unan entré sí elementos de una misma lista.

Un punto extremo solo se puede unir una sola vez. Además, en la tabla de la base de datos se agregan de manera cruzada las coordenadas de los puntos a los cuales fueron unidas las listas, ver tabla 5.4.

Una vez terminado de reconstruir las líneas se agregarán a otra tabla de la base de datos (ver tabla 5.5), previamente limpia, ya que las líneas que sirvieron para unir no estaban contempladas en la primera tabla de dicha base de datos.

De esta manera queda completo el proceso de vectorización con los centros de las líneas de interés.

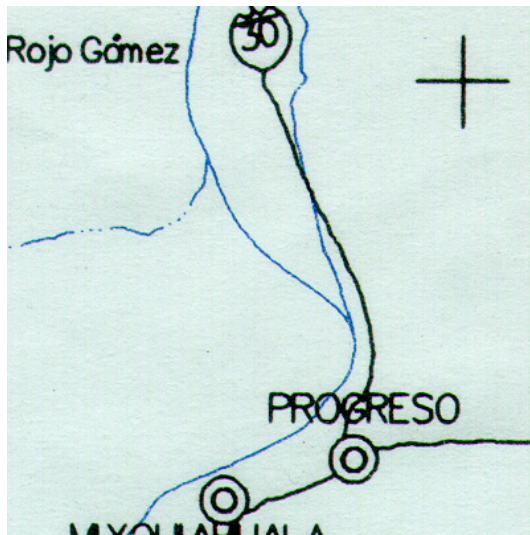
Coordenada X	Coordenada Y	Marca de revisado	Número de lista
...			
50	205	*	15
51	205	*	15
...			
45	200	*	15
46	201	*	15
47	201	*	15
...			

Tabla 5.5 Tabla definitiva de los datos referenciados a la imagen reconstruida.

Resumen de reglas:

1. La distancia máxima entre puntos extremos a unir debe ser de 20 píxeles.
2. En caso de haber más de un punto extremo cercano, éste debe ser el más próximo.
3. Las líneas de unión no deben atravesar ningún punto de ninguna lista en la imagen.
4. La línea recta nueva debe formar un ángulo entre 45° y 75° respecto a los últimos puntos extremos de cada línea a unirse.
5. No se pueden unir puntos extremos de la misma lista.
6. Cuando se unen listas estas formarán una sola.

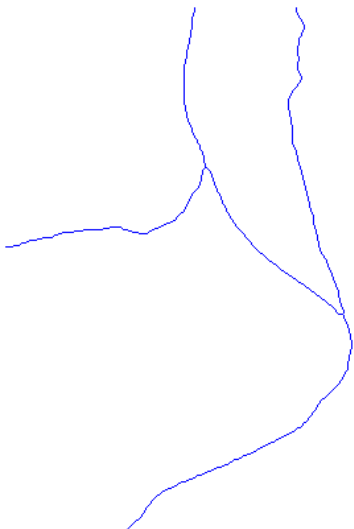
Resultados de esta etapa:



a) Mapa raster original



b) Reconstrucción de las líneas de interés de a)



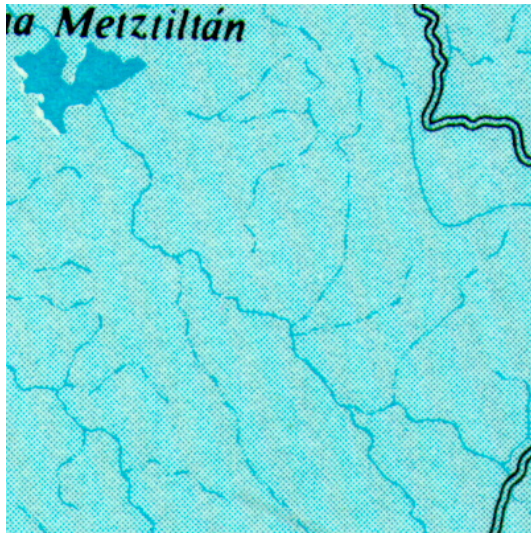
c) Resultado de la vectorización de b)

The screenshot shows a window titled 'Database Desktop - [Table : Vectores.db]'. It displays a table with the following data:

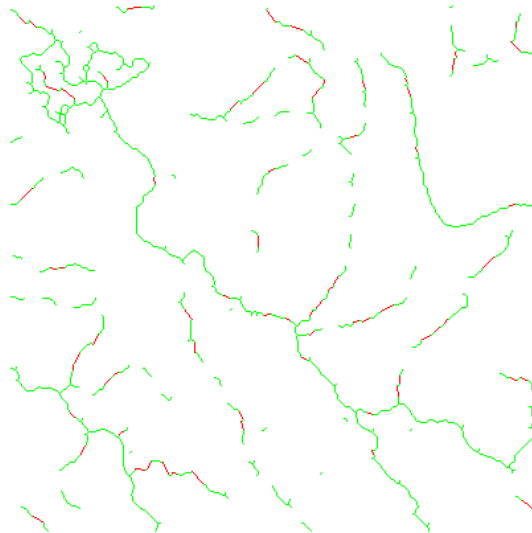
Vectores	X	Y	Marca	Lista
1	1.00	182.00	1.00	1.00
2	2.00	182.00	1.00	1.00
3	3.00	182.00	1.00	1.00
4	4.00	182.00	1.00	1.00
5	5.00	182.00	1.00	1.00
6	6.00	182.00	1.00	1.00
7	7.00	181.00	1.00	1.00
8	8.00	181.00	1.00	1.00
9	9.00	181.00	1.00	1.00
10	10.00	181.00	1.00	1.00
11	11.00	181.00	1.00	1.00
12	12.00	180.00	1.00	1.00
13	13.00	180.00	1.00	1.00
14	14.00	179.00	1.00	1.00
15	15.00	179.00	1.00	1.00
16	16.00	179.00	1.00	1.00

d) Resultado de la tabla relacionada a las líneas de c) del mapa raster a)

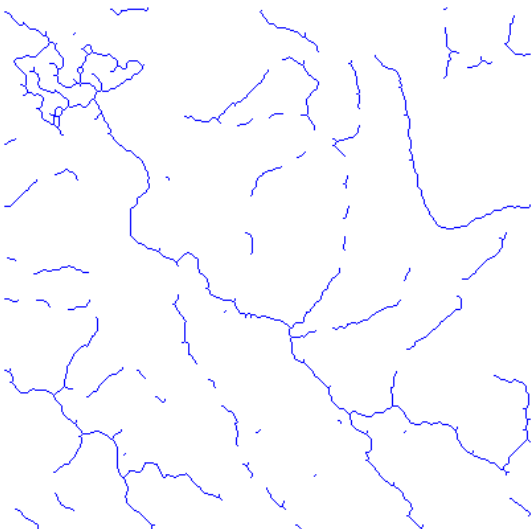
Fig. 5.33 Resultado del proceso de vectorización de la imagen.



a) Mapa raster original



b) Reconstrucción de las líneas de interés de a)



c) Resultado de la vectorización de b)

Database Desktop - [Table : Vectores.db]

File Edit View Table Record Tools Window Help

Vectores	X	Y	Lista	Marca
1	1.00	4.00	4.00	1.00
2	1.00	104.00	16.00	1.00
3	1.00	151.00	22.00	1.00
4	1.00	221.00	32.00	1.00
5	1.00	275.00	37.00	1.00
6	2.00	4.00	4.00	1.00
7	2.00	104.00	16.00	1.00
8	2.00	151.00	22.00	1.00
9	2.00	221.00	32.00	1.00
10	2.00	275.00	37.00	1.00
11	3.00	5.00	4.00	1.00
12	3.00	103.00	16.00	1.00
13	3.00	151.00	22.00	1.00
14	3.00	190.00	27.00	1.00
15	3.00	221.00	32.00	1.00
16	3.00	276.00	37.00	1.00

Record 1 of 3004

d) Resultado de la tabla relacionada a las líneas de c) del mapa raster a)

Fig. 5.34 Resultado del proceso de vectorización de un mapa en una región de color azul.