

# Pruebas y resultados

Es importante evaluar los resultados obtenidos en la vectorización con esta metodología, saber en que medida se puede comparar con los otros métodos existentes y el grado de eficacia, esto es un problema que ha recibido mucha atención en los últimos años y que es claramente dependiente de la aplicación, además de la opinión humana [Doermann 1997<sup>29</sup>].

Aunque el algoritmo sea diseñado con algunas tolerancias paramétricas debe ser menos sensible al ruido, además el efecto de la perturbación del ruido no está totalmente probado [Wenyin et al 1997<sup>36</sup>].

A pesar de las razones anteriores, intentaré establecer la posición e importancia de esta metodología respecto a las otras alternativas comentadas en el capítulo 3, además de mostrar la flexibilidad para tratar diferentes mapas temáticos, realizaremos:

1. Comparaciones con algunos métodos comentados en el capítulo 3.
2. Comparaciones entre los diferentes procesos de la metodología propuesta.
3. Se modificarán algunos parámetros utilizados en esta metodología.

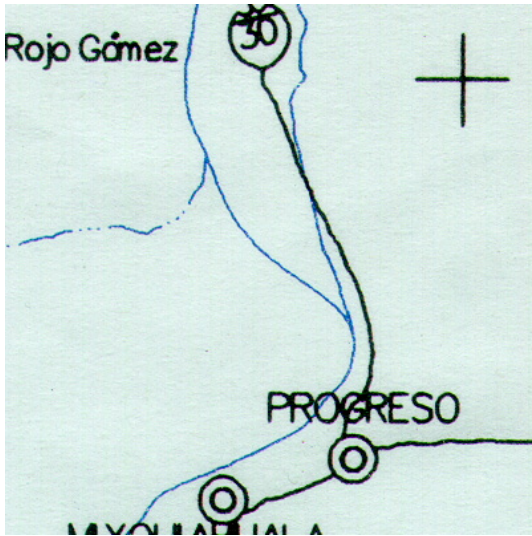
## 6.1. Comparaciones con otros métodos

En esta sección compararemos los resultados obtenidos con el método de descomposición de componentes [Levachkine *et al* 2001<sup>31</sup>] ver sección 3.2.5, y el software R2V que se comentó en la sección 3.2.6.

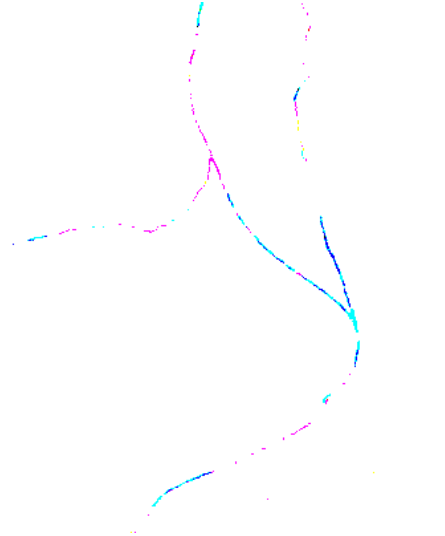
### 6.1.1. Descomposición de componentes

En la figura 6.1 b) se muestra un resultado que se obtuvo después de varias iteraciones, el conjunto de resultados se presentan como un libro de opciones de las cuales mediante algún tipo de búsqueda se logra encontrar el resultado esperado.

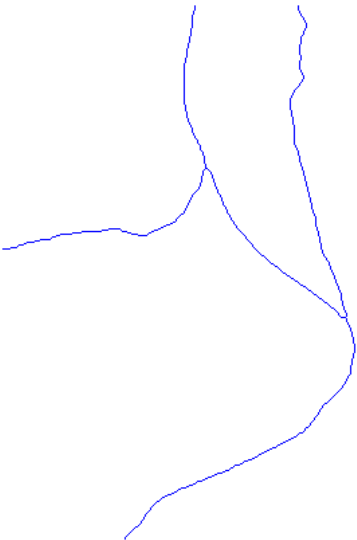
En este proceso se utilizan 10 tipos de parámetros y consideraciones diferentes, dependiendo de las entradas será la página de ése libro a donde se debe ir a esperar el resultado.



a) Imagen Original.



b) Resultado de procesar a la imagen a) con el método de Descomposición de Componentes.



c) Resultado de la vectorización de a) con el método propuesto.

Vectores	X	Y	Lista	Marca
1	1.00	182.00	3.00	1.00
2	2.00	182.00	3.00	1.00
3	3.00	182.00	3.00	1.00
4	4.00	182.00	3.00	1.00
5	5.00	182.00	3.00	1.00
6	6.00	182.00	3.00	1.00
7	7.00	181.00	3.00	1.00
8	8.00	181.00	3.00	1.00
9	9.00	181.00	3.00	1.00
10	10.00	181.00	3.00	1.00
11	11.00	181.00	3.00	1.00
12	12.00	180.00	3.00	1.00
13	13.00	180.00	3.00	1.00
14	14.00	179.00	3.00	1.00
15	15.00	179.00	3.00	1.00
16	16.00	179.00	3.00	1.00
17	17.00	178.00	3.00	1.00

d) Base de datos del mapa vectorizado c).

**Fig. 6.1** Comparación de resultados entre el método de Descomposición de Componentes y el propuesto.

Las diferencias principales entre estos dos resultados.

- Descomposición de Componentes
  - El resultado que se obtiene es exclusivamente gráfico.
  - El resultado depende de parámetros que generan una gran cantidad de imágenes, la respuesta adecuada se tiene que buscar apropiadamente.
  - El proceso es automático.
  - Es un método muy general, que en ocasiones se complica para encontrar la respuesta adecuada.

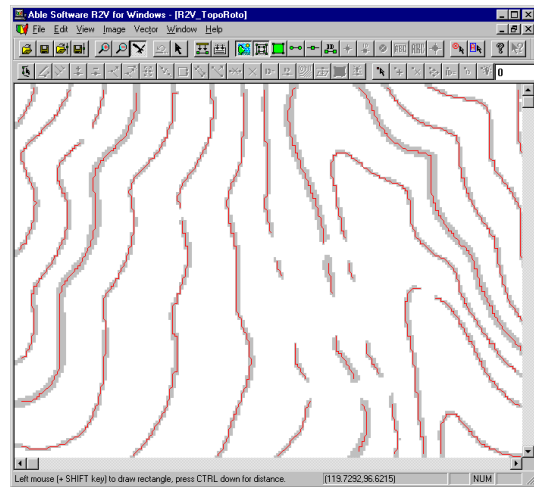
- Método propuesto
  - El resultado esta relacionado a una base de datos.
  - El resultado es único, de acuerdo a parámetros que se resumirán más adelante.
  - Es un proceso semiautomático, el usuario define previamente que desea vectorizar.

### 6.1.2. Software R2V

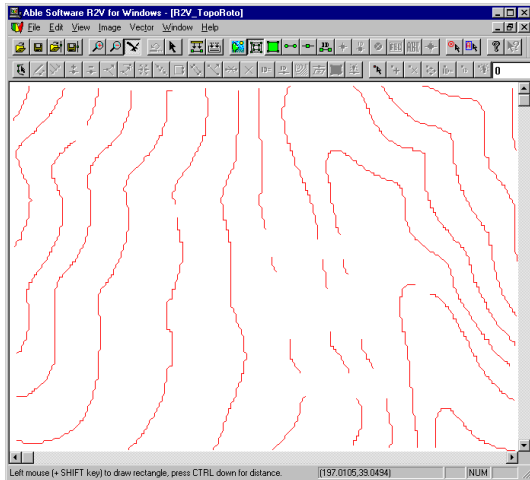
En la figura 6.2 a) se muestra un mapa de curvas de nivel en blanco y negro (1 bit). Al resultado de la figura 6.2 b) se le cambió el color de negro a un tono de gris para poder visualizar la línea roja como resultado de la vectorización, podemos observar que las líneas “rotas” no se reconstruyen de manera automática.



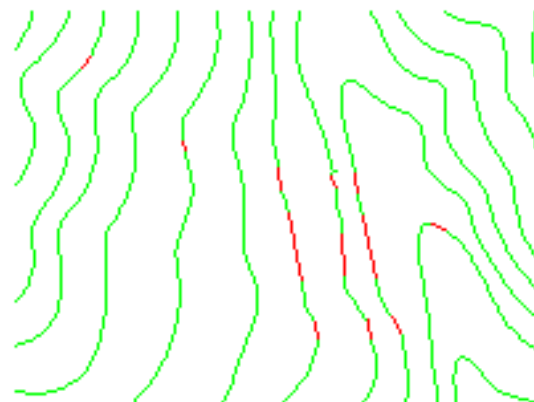
a) Imagen Original: Curvas de nivel.



b) Resultado de vectorizar la imagen a) con el software R2V.



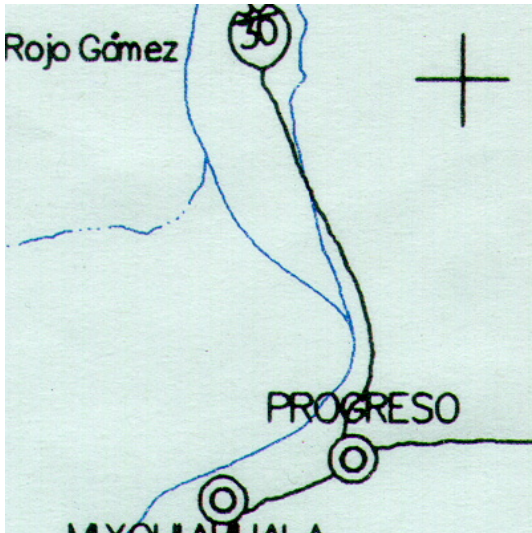
c) Después de quitar la imagen del fondo a la imagen b).



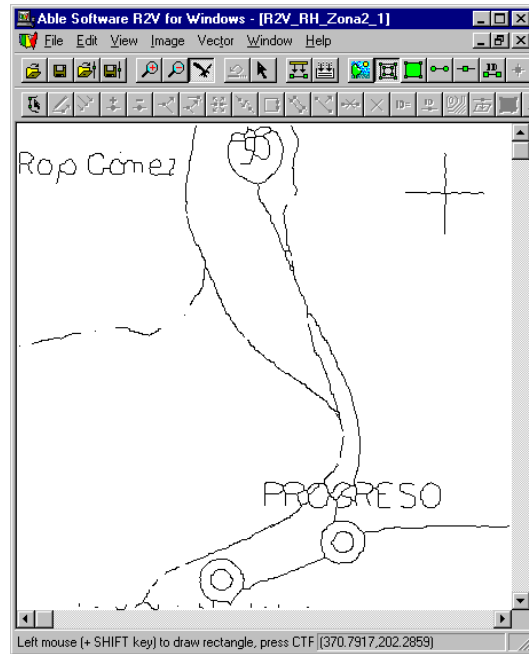
d) Resultado gráfico de la vectorización de a) con el método propuesto.

**Fig. 6.2** Comparación de resultados gráficos en una imagen binaria entre el software R2V y el propuesto.

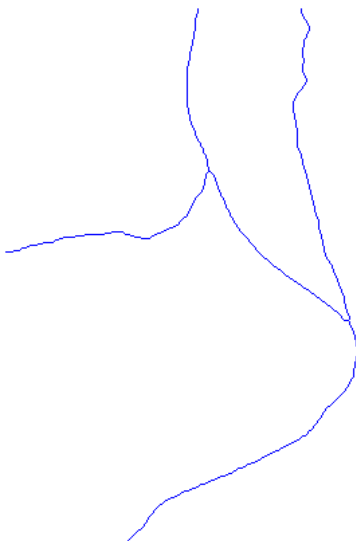
En la figura 6.3 a) es una imagen a colores de 24 bits, primero se pasó a niveles de gris porque no es posible que R2V la trate directamente, observamos que el resultado es una binarización y adelgazamiento del contenido de la imagen.



a) Imagen Original.



b) Resultado de procesar a la imagen a) con el software R2V.



c) Resultado de la vectorización de a) con el método propuesto.

Vectores	X	Y	Lista	Marca
1	1.00	182.00	3.00	1.00
2	2.00	182.00	3.00	1.00
3	3.00	182.00	3.00	1.00
4	4.00	182.00	3.00	1.00
5	5.00	182.00	3.00	1.00
6	6.00	182.00	3.00	1.00
7	7.00	181.00	3.00	1.00
8	8.00	181.00	3.00	1.00
9	9.00	181.00	3.00	1.00
10	10.00	181.00	3.00	1.00
11	11.00	181.00	3.00	1.00
12	12.00	180.00	3.00	1.00
13	13.00	180.00	3.00	1.00
14	14.00	179.00	3.00	1.00
15	15.00	179.00	3.00	1.00
16	16.00	179.00	3.00	1.00
17	17.00	178.00	3.00	1.00

d) Base de datos del mapa vectorizado c).

**Fig. 6.3** Comparación de resultados entre el software R2V y el propuesto.

Las diferencias principales entre estos resultados.

- Software R2V
  - El resultado que se obtiene es exclusivamente gráfico.
  - Trabaja básicamente encontrando el centro y bordes de las líneas que contienen las imágenes.
  - El proceso es automático.
  - No genera una base de datos de los puntos vectorizados, sino un archivo para que otro software lo termine de construir (por ejemplo, MapInfo o ArcView).
  
- Método propuesto
  - El resultado esta relacionado a una base de datos.
  - Reconstruye líneas parcialmente discontinuas.
  - No trabaja con los bordes de las líneas.
  - Trabaja con imágenes a color de 24 bits.
  - Genera la base de datos de las líneas vectorizadas.

## 6.2. Comparación entre los diferentes procesos de la metodología propuesta.

### 6.2.1. Resultados de las normalizaciones

Realizaremos algunas comparaciones de los valores puros en RGB de los pixeles en mapas raster original, ecualizado y normalizado que aparecen en la figura 5.6 y que por comodidad se repiten en la figura 6.4.

Coordenada		Objeto	Original			Normalizada		
X	Y		R	G	B	R	G	B
90	40	Línea	0	153	204	0	192	255
116	43	Texto	51	51	102	24	32	104
112	52	Fondo	204	255	204	255	255	255
103	50	Orilla	153	204	204	176	255	255

**Tabla 6.1** Ejemplo del contraste alcanzado con la normalización.

En los valores de la tabla 6.1, las columnas “Original” y “Normalizada” se refieren al mapa de la figura 6.4 a) y b) respectivamente, en estos datos vemos que los valores RGB de cada pixel en las imágenes normalizadas se separan unos de otros más que en la imagen original.

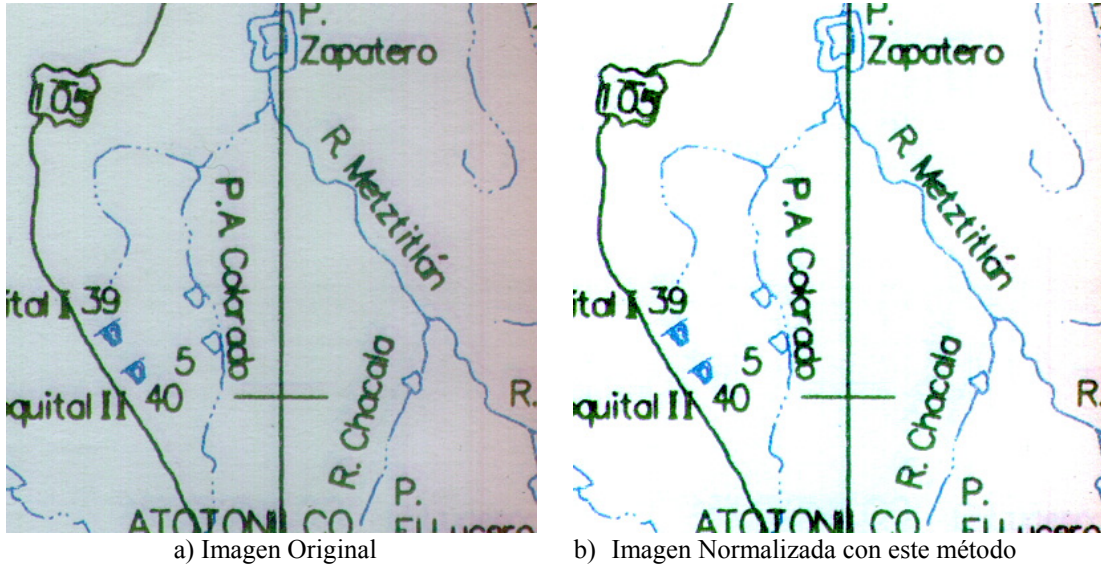


Fig. 6.4 Reproducción del resultado gráfico de la normalización.

En la tabla 6.2 se presentan las distancias euclidianas entre los puntos de algún objeto a la línea, se refieren a los mismos datos que la tabla 6.1.

Objeto	Distancia a la línea	
	Original	Normalizada
Texto	153.0	221.3
Fondo	228.1	262.7
Orilla	161.3	186.9

Tabla 6.2 Distancias euclidianas en el cubo RGB

A continuación se presentan algunos mapas raster normalizados.

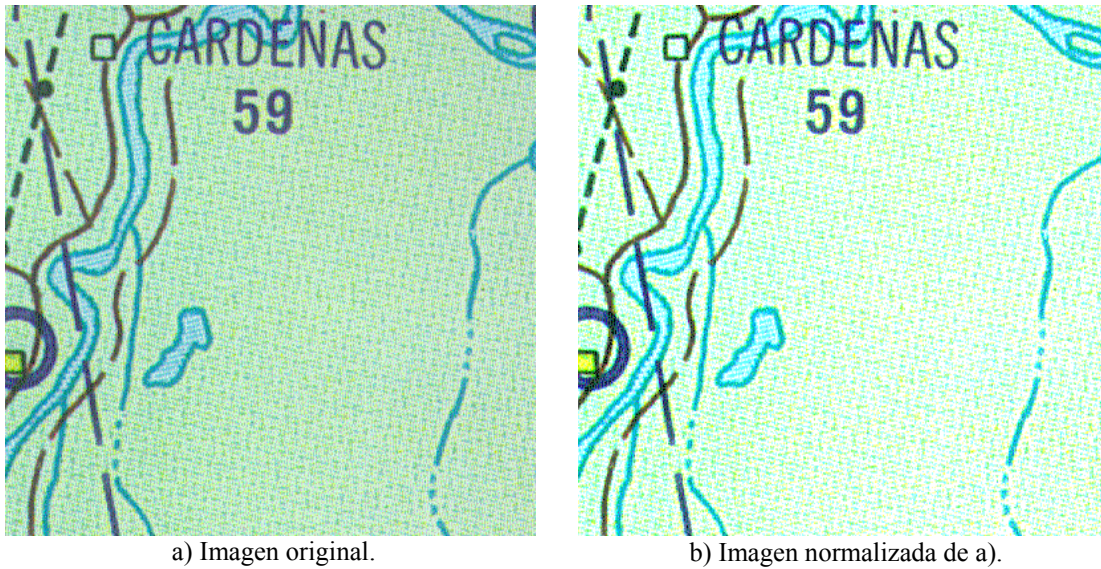


Fig. 6.5 Resultado del proceso de normalización.

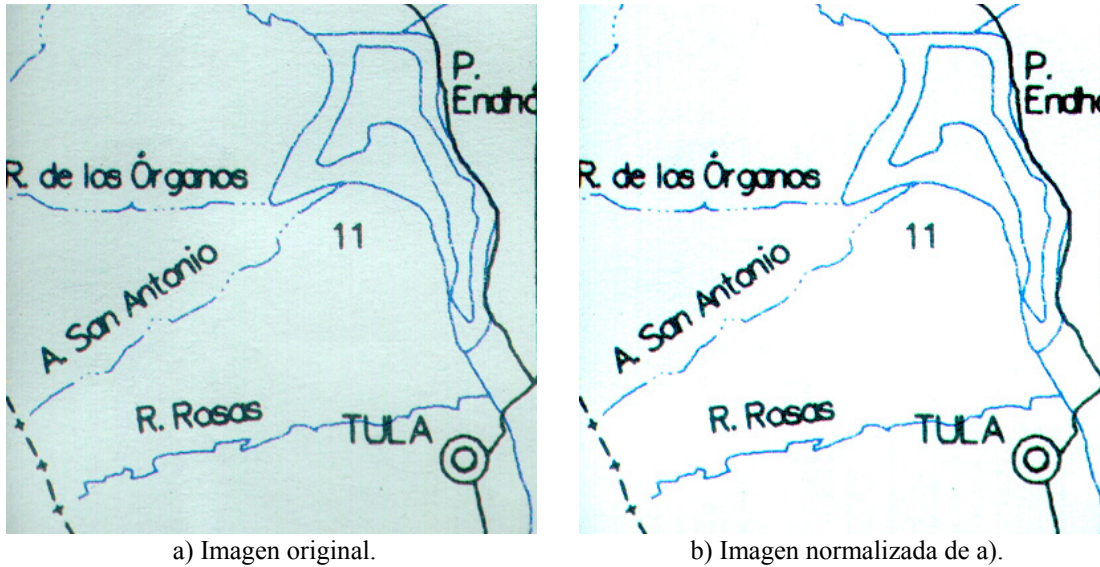


Fig. 6.6 Otro resultado del proceso de normalización.

## 6.2.2. Resultados de las clasificaciones

En este apartado compararemos los resultados de los diferentes clasificadores que se plantearon en la metodología propuesta. Las pruebas se realizan en áreas de comprobación (ver sección 4.7.6), éstas consideran que:

- Se realizan en un área de tamaño 400x400 seleccionada al azar, la misma para cada prueba.
- Que no coincida con la muestra de entrenamiento del clasificador.
- Que contenga la línea de interés.

Las pruebas que se realizarán en el área de comprobación son solo para obtener un número aproximado de la eficacia de los clasificadores, revisemos tres aspectos importantes:

- **El proceso de digitalización:**  
Como vimos en el capítulo 5, uno de los problemas de la digitalización de los mapas en papel es que se introduce información indeseable en el mapa raster, esto se refleja en los cambios de tonalidades de las líneas por zonas en dichos mapas.
- **La mezcla de colores en los bordes:**  
Otra consecuencia del proceso de digitalización y la descompactación de la imagen en formato JPEG, es que el valor de un pixel se promedia con sus vecinos y al tratarse de las líneas no sabremos con exactitud en donde empieza y termina el borde de las mismas.

- **El tamaño de los mapas raster:**

El tamaño de la máscara de entrenamiento y el área de comprobación son muy pequeños comparados con el tamaño de un mapa raster.

Estas razones asociadas a que no existe una clasificación clara de los tipos de mapas temáticos vemos que es más adecuado dejarlo al criterio del experto humano [Doermann 1997<sup>29</sup>].

Para ejemplificar lo antes mencionado se realizó una prueba a la figura 6.7 a), la comprobación fue por medio de contar manualmente los píxeles mínimos contenidos en el centro de la línea de interés, de tal manera que no se pierda continuidad, se reporta el número de puntos que contiene la línea en:

- La imagen original, dentro del área de prueba.
- Los clasificados acertadamente dentro de la línea.
- Los no clasificados y debieron ser clasificados que pertenecen a la línea de interés.
- Los clasificados erróneamente, que pertenecen a otros objetos presentes en el área de prueba.

Clasificador	Pertenece a la línea	Total dentro del área de prueba	Puntos clasificados:			% de aciertos	% de errores	Grado de eficacia
			Dentro de la línea	Faltaron en la línea	De otros objetos			
Máximos y Mínimos	723	772	714	9	58	92.49	7.51	0.913
K-Medias	723	793	707	16	86	89.16	10.84	0.872
K-Medias Modificado	723	743	715	8	28	96.23	3.77	0.952
Expansión en 3 pasos	723	451	451	272	0	100.00	0.00	0.624
Búsqueda de colores	723	692	675	48	17	97.54	2.46	0.911

**Tabla 6.3** Resultados de una prueba en un área de comparación.

El porcentaje de aciertos y de errores se refiere a la relación siguiente:

$$\% \text{ de aciertos} = \frac{\text{número de aciertos dentro de la línea}}{\text{número total en el área de prueba}} (100)$$

y

$$\% \text{ de errores} = \frac{\text{número de puntos de otros objetos}}{\text{número total en el área de prueba}} (100)$$

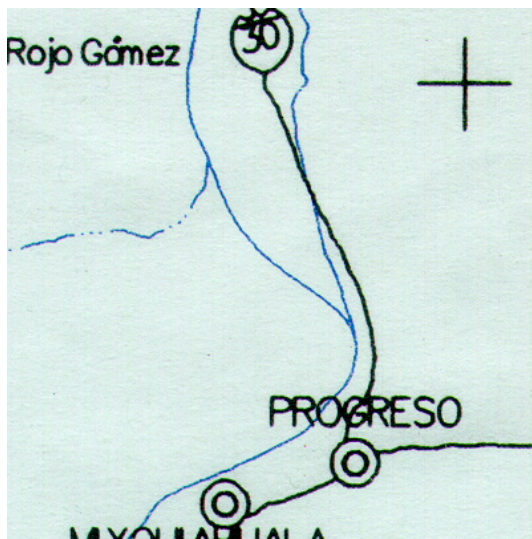
además el grado de eficacia:

$$\text{Grado de eficacia} = \frac{\% \text{ de aciertos (número de aciertos dentro de la línea)}}{\text{número de puntos que pertenecen a la línea}} (100)$$

donde el grado de eficacia varía en un rango de  $[0,1]$

En estos resultados observamos que el mejor clasificador es K-Medias Modificado, pero el que contiene menos errores es Expansión en 3 Pasos. Como se mencionó anteriormente la decisión dependerá de la aplicación, en esta caso es importante:

- Que no tenga errores, ya que en el proceso de reconstrucción pueden ser puntos candidatos para unirse con la línea que pretendemos extraer, y de esta manera distorsionar el resultado.
- Puede no tener elementos clasificados que pertenecen a la línea en cuestión, ya que se “rellenarán” en el proceso de reconstrucción.



a) Imagen original



b) Clasificador: Máximos y Mínimos

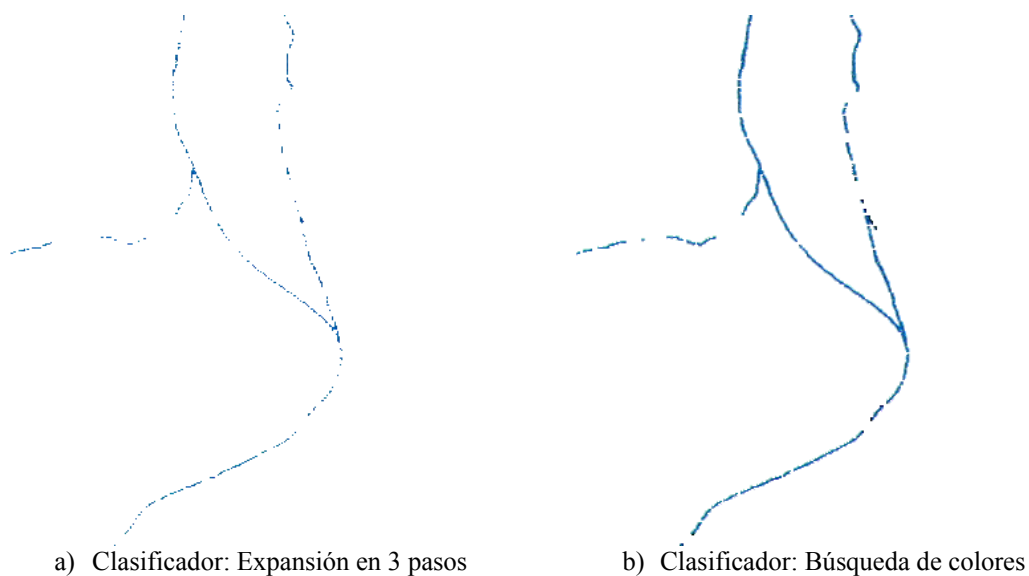


c) Clasificador: K-Medias



d) Clasificador: K-Medias Modificado

**Fig. 6.7** Resultados del proceso de clasificación.



**Fig. 6.8** Más resultados del proceso de clasificación.

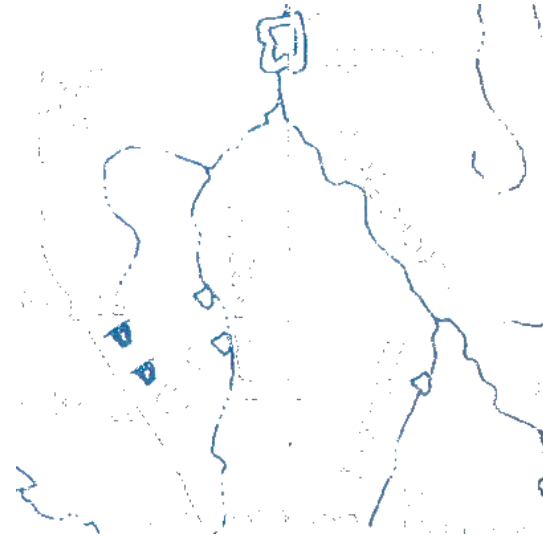
En el mismo mapa, pero en otra región se realizó un procedimiento similar, los resultados se muestran en la tabla 6.4, y la figura 6.9 a) muestra el área de comparación de esta segunda prueba.

Clasificador	Pertenece a la línea	Total dentro del área de pruebas	Puntos clasificados:			% de aciertos	% de errores	Grado de eficacia
			Dentro de la línea	Faltaron en la línea	De otros objetos			
Máximos y Mínimos	1310	1696	1301	9	395	76.71	23.29	0.762
K-Medias	1310	1402	1264	46	138	90.16	9.84	0.870
K-Medias Modificado	1310	1669	1303	7	366	78.07	21.93	0.777
Expansión en 3 pasos	1310	1635	1300	10	335	79.51	20.49	0.789
Búsqueda de colores	1310	2138	630	680	1508	29.47	70.53	0.142

**Tabla 6.4** Resultados de una 2da prueba, en un área de comparación diferente en el mismo mapa.



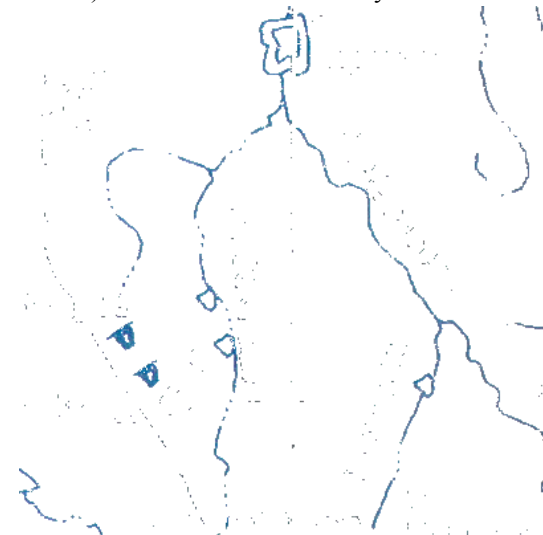
a) Imagen original



b) Clasificador: Máximos y Mínimos



c) Clasificador: K-Medias



d) Clasificador: K-Medias Modificado



e) Clasificador: Expansión en 3 pasos



f) Clasificador: Búsqueda de colores

Fig. 6.9 Resultados del proceso de clasificación en un área diferente del mismo mapa.

Si tomamos en cuenta que las áreas de comprobación son al azar no se puede concluir cual de los clasificadores funcionó mejor para este mapa, pero si somos capaces de saber cual se mantuvo más estable en la clasificación de puntos acertados en estas dos pruebas, de forma gráfica en la figura 6.10 se observa como cambia el comportamiento de un clasificador respecto a su ambiente de trabajo.

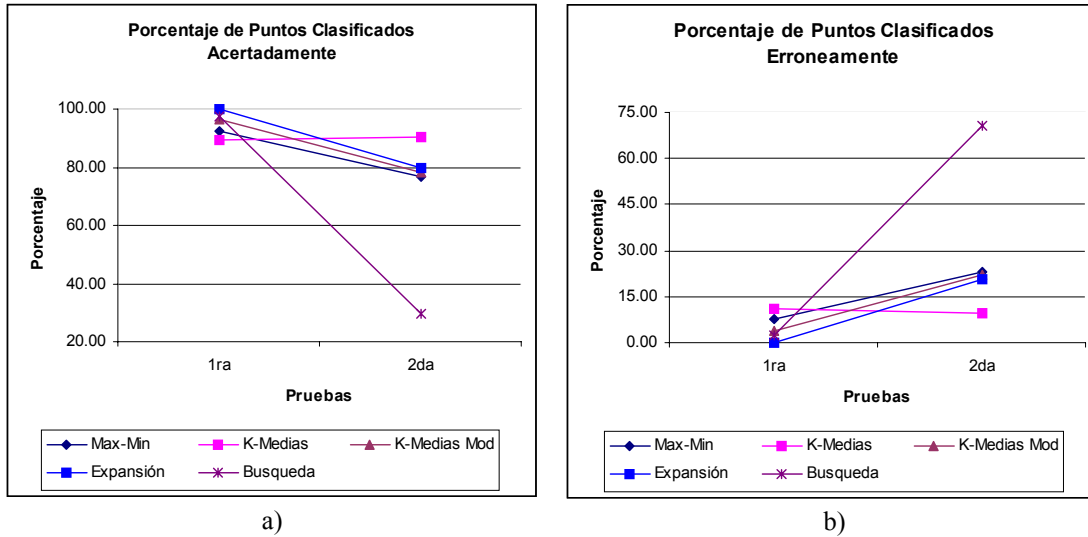


Fig. 6.10 Muestra gráfica comparativa de las dos pruebas realizadas al mismo mapa.

Para minimizar los puntos clasificados erróneamente se utilizan los filtros que se detallaron en la sección 5.6.2, 5.6.5 y 5.6.6 de esta manera la eficacia de los clasificadores aumenta considerablemente, el filtro que se utilizó para obtener las imágenes de la figura 6.12 fue el de “Eliminación de píxeles mal clasificados”.

En la figura 6.11 se puede apreciar el resultado comparativo de pasar un filtro por las imágenes clasificadas de la figura 6.9 y en la tabla 6.5 vemos los datos correspondientes.

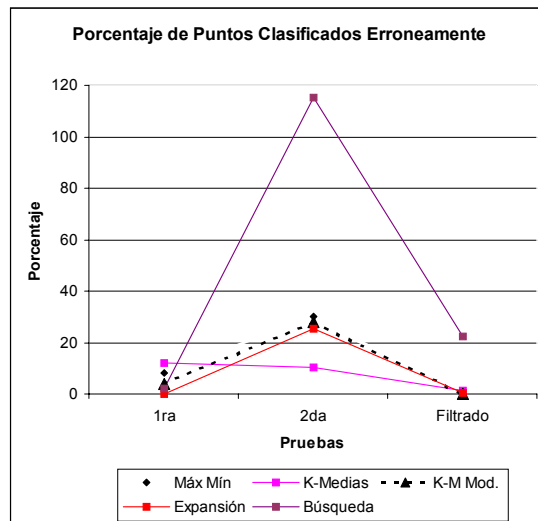
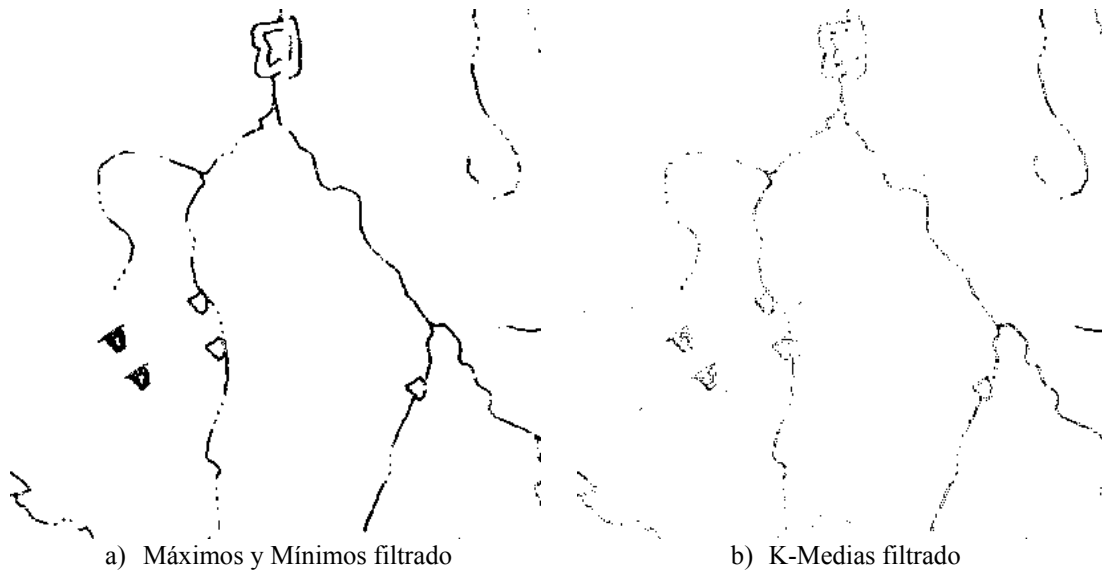


Fig. 6.11 Muestra los resultados de pasar un filtro por el resultado de las clasificaciones.

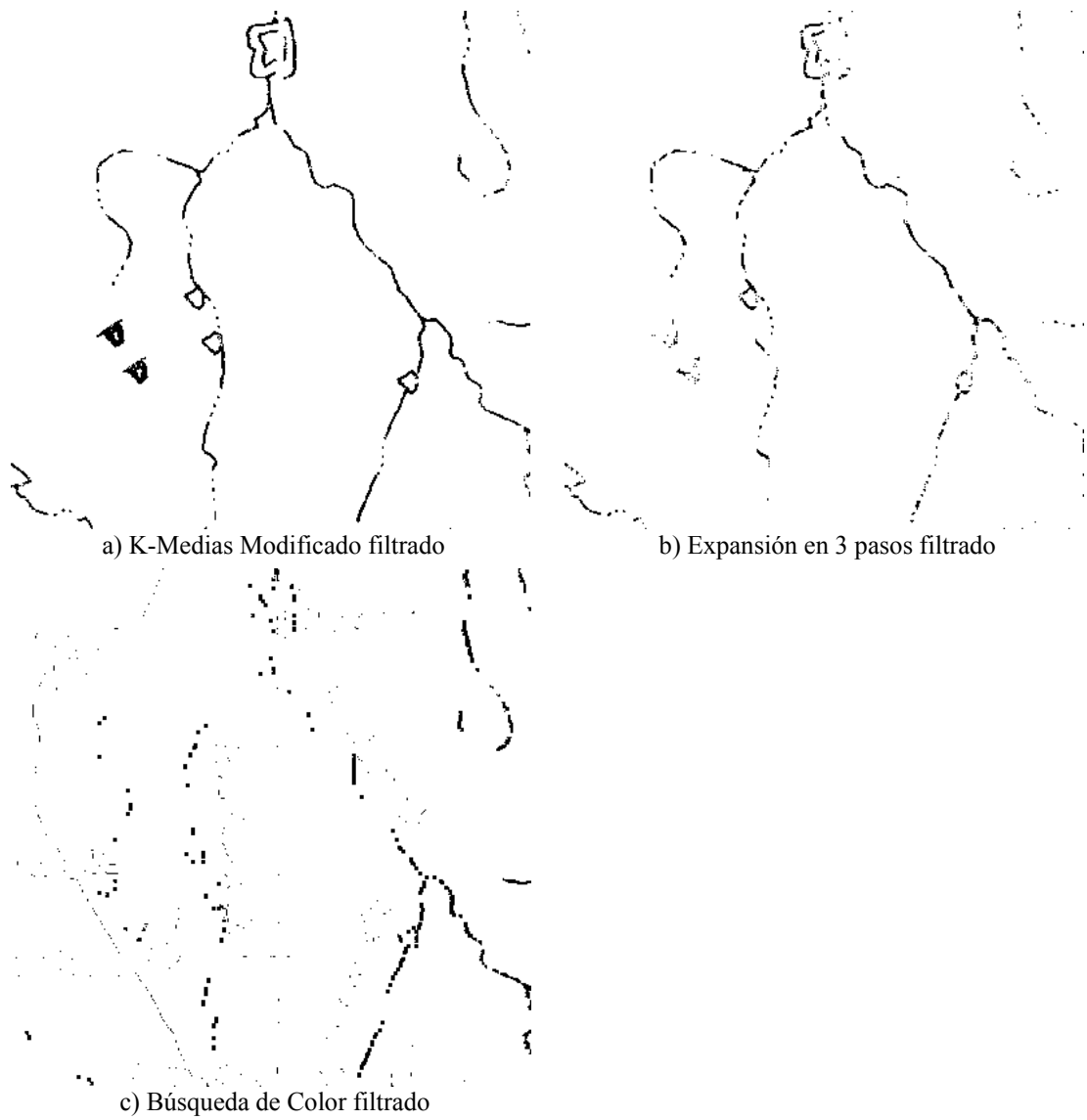
En las figuras 6.12 y 6.13 se muestran las mismas imágenes de la figura 6.9 después de ser filtradas, la intención es subrayar que los valores clasificados erróneamente se pueden corregir en gran medida y dejar el peso de la comparación entre clasificadores por el número de píxeles bien clasificados.

Clasificador	En la 2da prueba			Después del filtrado		
	Clasificados de otros objetos	% de errores	Grado de eficacia	Quedan clasificados erróneamente	% de errores	Grado de eficacia
Máximos y Mínimos	395	23.29	0.762	0	0.00	0.993
K-Medias	138	9.84	0.870	15	1.17	0.954
K-Medias Modificado	366	21.93	0.777	0	0.00	0.995
Expansión en 3 pasos	335	20.49	0.789	3	0.23	0.990
Búsqueda de colores	1508	70.53	0.142	292	31.67	0.329

**Tabla 6.5** Datos resultantes de pasar un filtro por las imágenes de las clasificaciones de la segunda prueba de la tabla 6.4.



**Fig. 6.12** Muestra las imágenes después de filtrarse los resultados de las clasificaciones de la fig. 6.9.



**Fig. 6.13** Más muestras de imágenes después de filtrarse los resultados de las clasificaciones de la fig. 6.9.

## 6.3. Modificación de parámetros.

Durante el desarrollo de la metodología se han utilizado algunos parámetros para reducir la complejidad y poder abarcar una buena parte de la variedad de los mapas temáticos, veremos como influyen la modificación de los mismos en los resultados.

Los parámetros manejados son:

### Normalización:

- Porcentaje de contraste.
- Factor de contraste.

### Clasificadores:

- Tamaño de la máscara de aprendizaje.
- Orden en el RGB.

### Filtro:

- Filtrado.
- Eliminación de píxeles mal clasificados.
- Eliminación de píxeles aislados y en parejas.

### Reconstrucción:

- Distancia de alcance máximo en la reconstrucción.

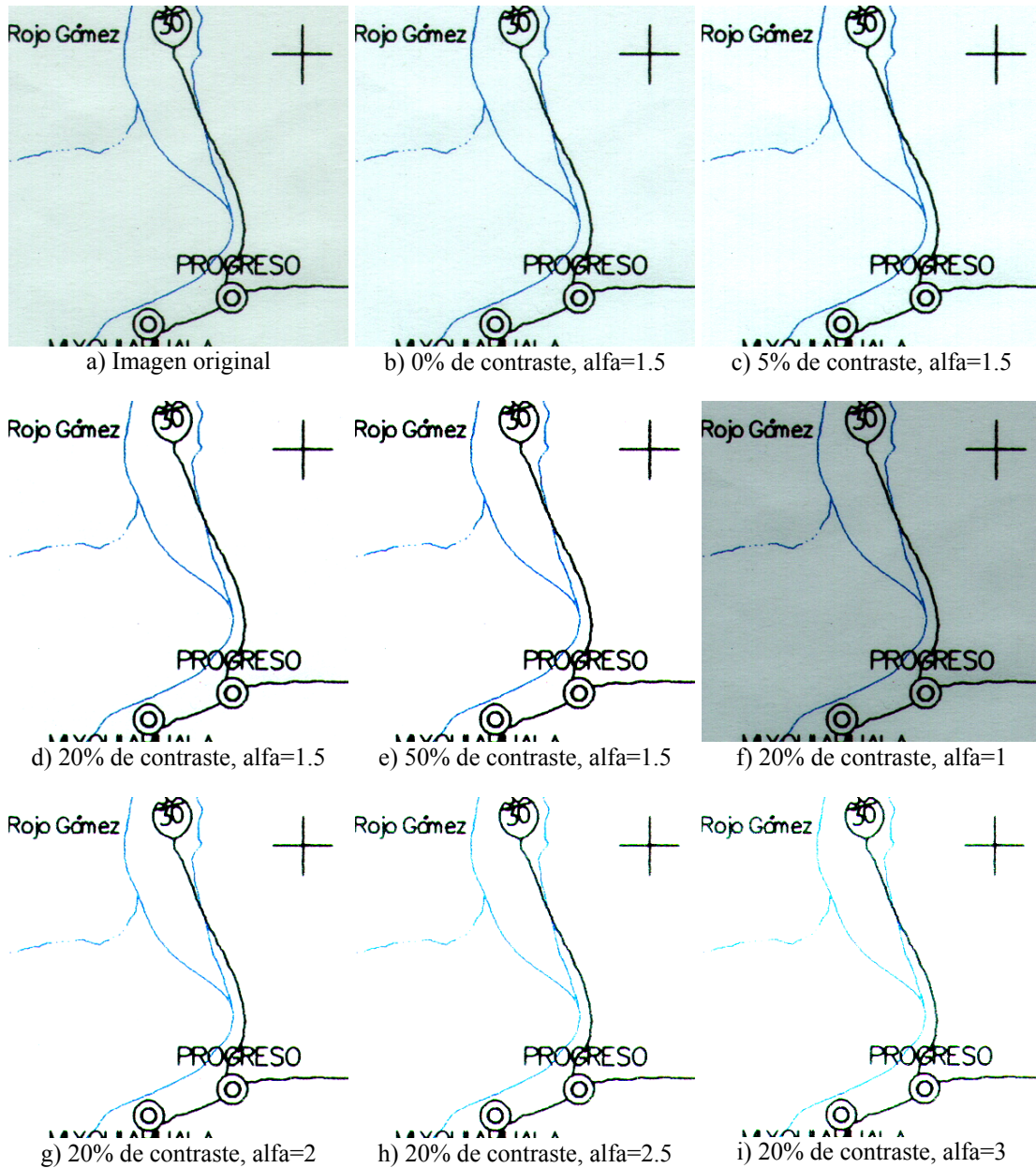
### 6.3.1. Normalización

La normalización nos ayuda a aumentar el contraste de las imágenes para tener menor número de elementos a clasificar y aumentar la separación entre sí.

Los parámetros propuestos son:

- Porcentaje de contraste = 20%.
- Factor de contraste,  $\alpha = 1.5$ .

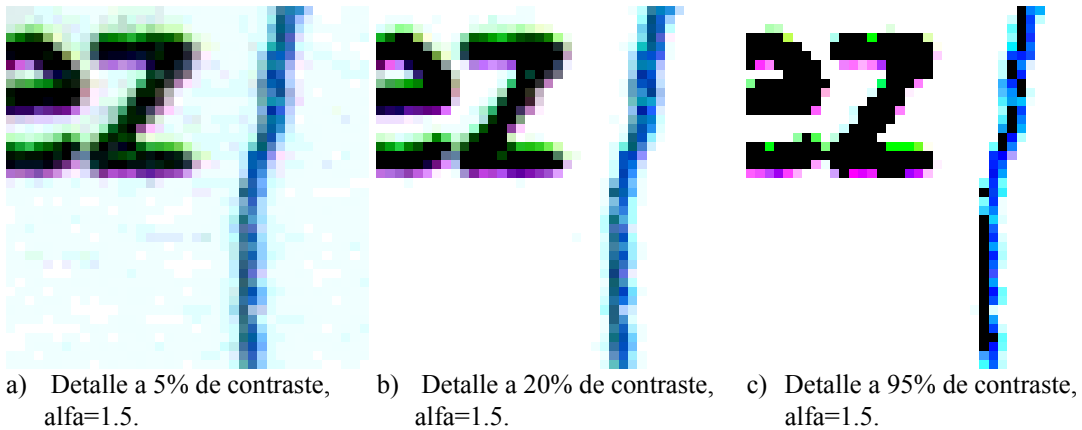
En la sección 6.2.1 vimos algunos ejemplos de este proceso, empezaremos con ver que pasa si variamos el parámetro propuesto del 20% y mantenemos el factor de contraste  $\alpha = 1.5$ , posteriormente mantenemos el porcentaje de contraste y variamos el factor de contraste.



**Fig. 6.14** Muestra de resultados gráficos de la variación de parámetros en la normalización.

En las imágenes de la figura 6.14 del inciso b) a la e), podemos observar como el fondo de la imagen se contrasta con los objetos dibujados en él, conforme se incrementa el valor del porcentaje de contraste los colores de los objetos presentes tienden a negro, lo que complicaría la clasificación, como se observa un detalle en la figura 6.15, por lo cual seleccionamos el porcentaje de contraste del 20%.

En la misma figura 6.14 del inciso f) a la i), la imagen cambia de intensidad homogéneamente.



**Fig. 6.15** Detalle de la variación del porcentaje de contraste y el cambio de tonalidad.

### 6.3.2. Clasificadores

Estos clasificadores necesitan una máscara o área de aprendizaje y de un valor inicial como punto de referencia, no todas las áreas son del mismo tamaño.

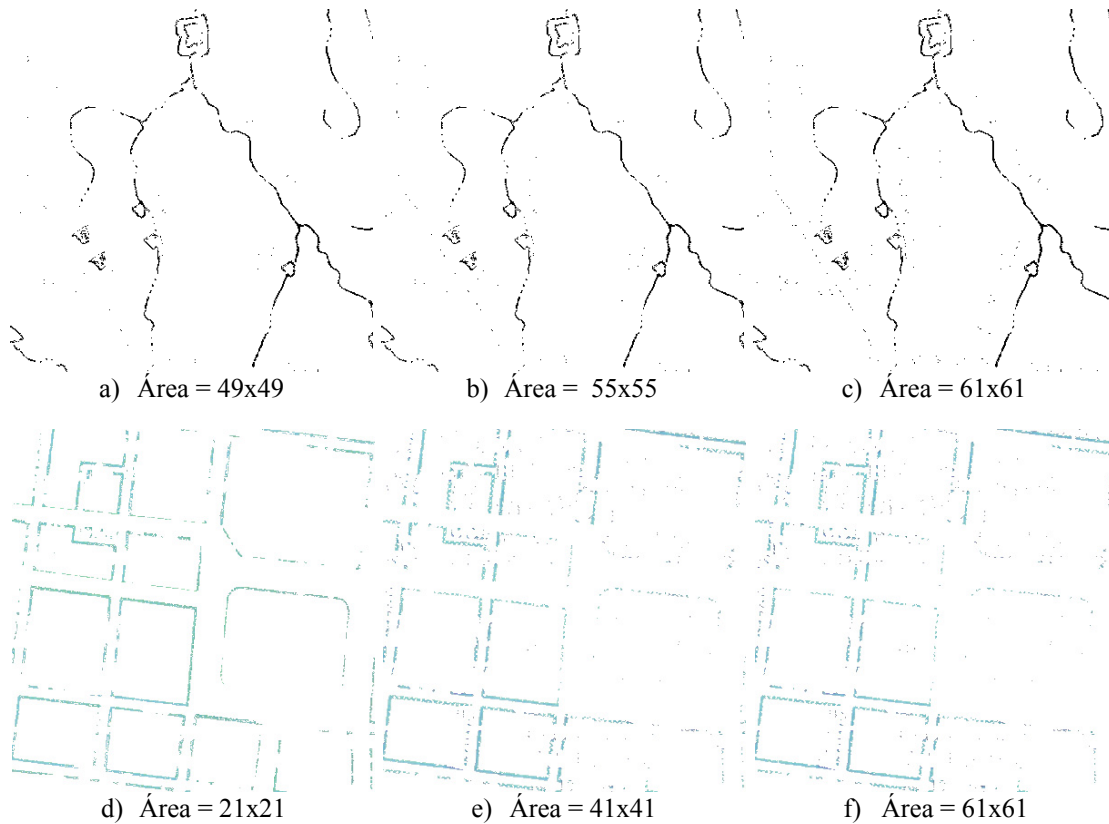
Los tamaños propuestos son:

<b>Clasificador</b>	<b>Tamaño de la máscara</b>
Máximos y Mínimos	61x61
K-Medias	61x61
K-Medias Modificado	61x61
Expansión en 3 Pasos	3x3
Búsqueda de Colores	1x1

Los tres primeros clasificadores necesitan un área mínima donde existan grupos de elementos a los cuales se le quiere diferenciar, esto no depende del tamaño del área de entrenamiento, sino de buscar una zona con estas características en el mapa raster antes de seleccionar el punto en la línea de interés y que a partir de ese punto seleccionado se genere el área de entrenamiento.

En la figura 6.16 se muestran algunos ejemplos gráficos de algunos mapas raster, clasificados con diferentes tamaños de máscaras de entrenamiento, en la misma figura podemos observar que mientras el área de entrenamiento sea menor (hacia la izquierda) el resultado tiene menor cantidad de información indeseable y las líneas están mejor definidas.

El clasificador que se utilizó fue el K-Medias, ya que en la figura 6.10 mostró mejor estabilidad.



**Fig. 6.16** Resultados de la variación del tamaño del área de entrenamiento.

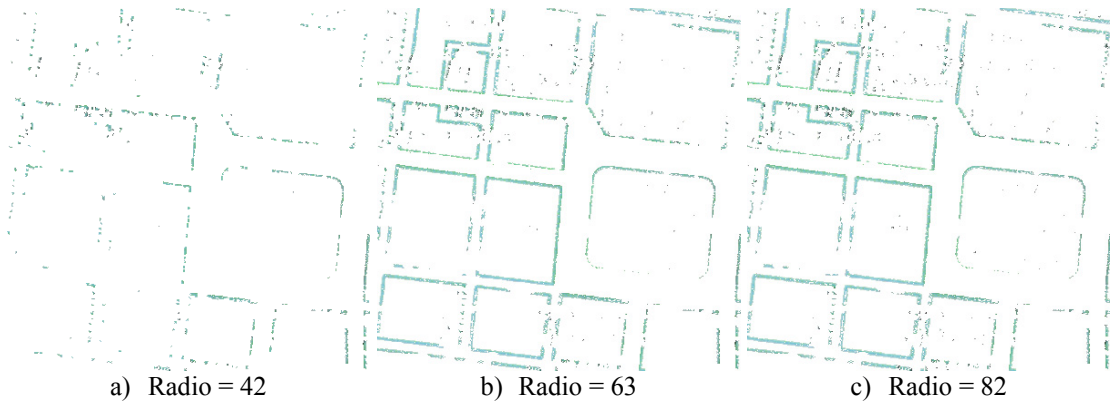
Veamos algunos resultados:

- En las imágenes de la figura 6.16 nos muestran que mientras más pequeña sea el área de entrenamiento mejores serán los resultados, mientras contenga a los grupos a discriminar,
- En la figura 6.10 nos muestra que los resultados varían dependiendo de la zona del mapa raster y
- En la figura 6.11 que podemos utilizar un filtro que nos ayude a eliminar la información sobrante.

El clasificador “Expansión en 3 Pasos” necesita estar contenida exclusivamente dentro de la línea de interés o por lo menos la mayor parte de la máscara y el resto sea fondo blanco.

Este clasificador solamente selecciona elementos similares, el resto son ignorados, el factor de similitud esta en función de la desviación estándar de los elementos dentro del área de 3x3. Por estas razones no se recomienda aumentar el tamaño de la máscara.

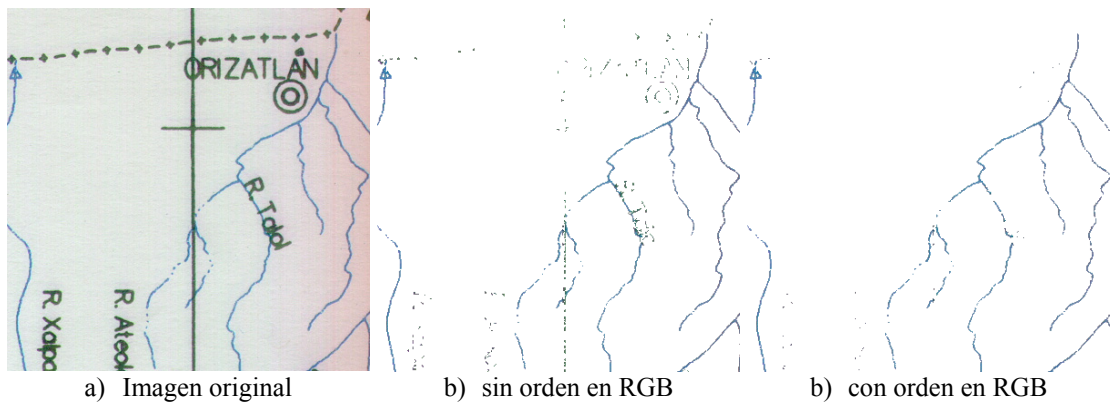
En el último clasificador “Búsqueda de Colores” se toma un punto como muestra del color deseado y se puede modificar el radio en el cual se obtendrán los elementos seleccionados, se propone el valor de 42 que es aproximadamente la sexta parte de 256 y formará un cubo de  $84 \times 84 \times 84$  con centro en el valor en RGB del punto seleccionado dentro del cubo RGB, aunque ya hemos visto que dependerá del mapa raster a procesar.



**Fig. 6.17** Resultado de la variación del radio dentro del cubo RGB.

En la figura 6.17 se puede ver como depende el resultado del radio utilizado, en este caso el valor adecuado es de 63.

A todos los clasificadores se les agregó una segunda cualidad para seleccionar determinado tipo de elementos preclasificados, que es la de revisar el orden en RGB de los valores del pixel del punto seleccionado. Esta característica no se recomienda modificar, pero se mostrarán algunas imágenes clasificadas con y sin esta asistencia.



**Fig. 6.18** Muestra la diferencia de clasificar sin y con orden RGB.

### 6.3.3. Filtrado

En la sección 5.6.2, 5.6.5 y 5.6.6 se discutieron tres etapas de filtrado y sus aplicaciones, se denominaron por su uso y son:

- **Filtrado.**  
En algunas imágenes donde la tonalidad de la línea de interés está dentro de una región de color muy similar a la misma, es conveniente el proceso de filtrado.
- **Eliminación de píxeles mal clasificados.**  
Elimina los puntos clasificados que pertenecen o son vecinos de los objetos más oscuros en la imagen, se auxilia del plano paralelo donde se dejaron los elementos no clasificados.
- **Eliminación de píxeles aislados y en parejas.**  
Es conveniente cuando quedan muchos píxeles sueltos en la imagen y pueden ser factores de distorsión en el proceso de reconstrucción, no es recomendable cuando la línea queda fraccionada en pequeñas partes.

Estos filtros se pueden utilizar de forma independiente o en conjunto, se hace un resumen en la tabla 6.6, donde observamos dependiendo del parámetro si se utiliza esa opción de filtrado o no.

Parámetro	Filtrado	Elimina píxeles aislados y en parejas	Elimina píxeles mal clasificados
0	No	No	No
1	No	No	Sí
2	No	Sí	No
3	No	Sí	Sí
4	Sí	No	No
5	Sí	No	Sí
6	Sí	Sí	No
7	Sí	Sí	Sí

**Tabla 6.6** Resumen de los parámetros de filtros.

En la figura 6.19 veremos algunos ejemplos de su aplicación.

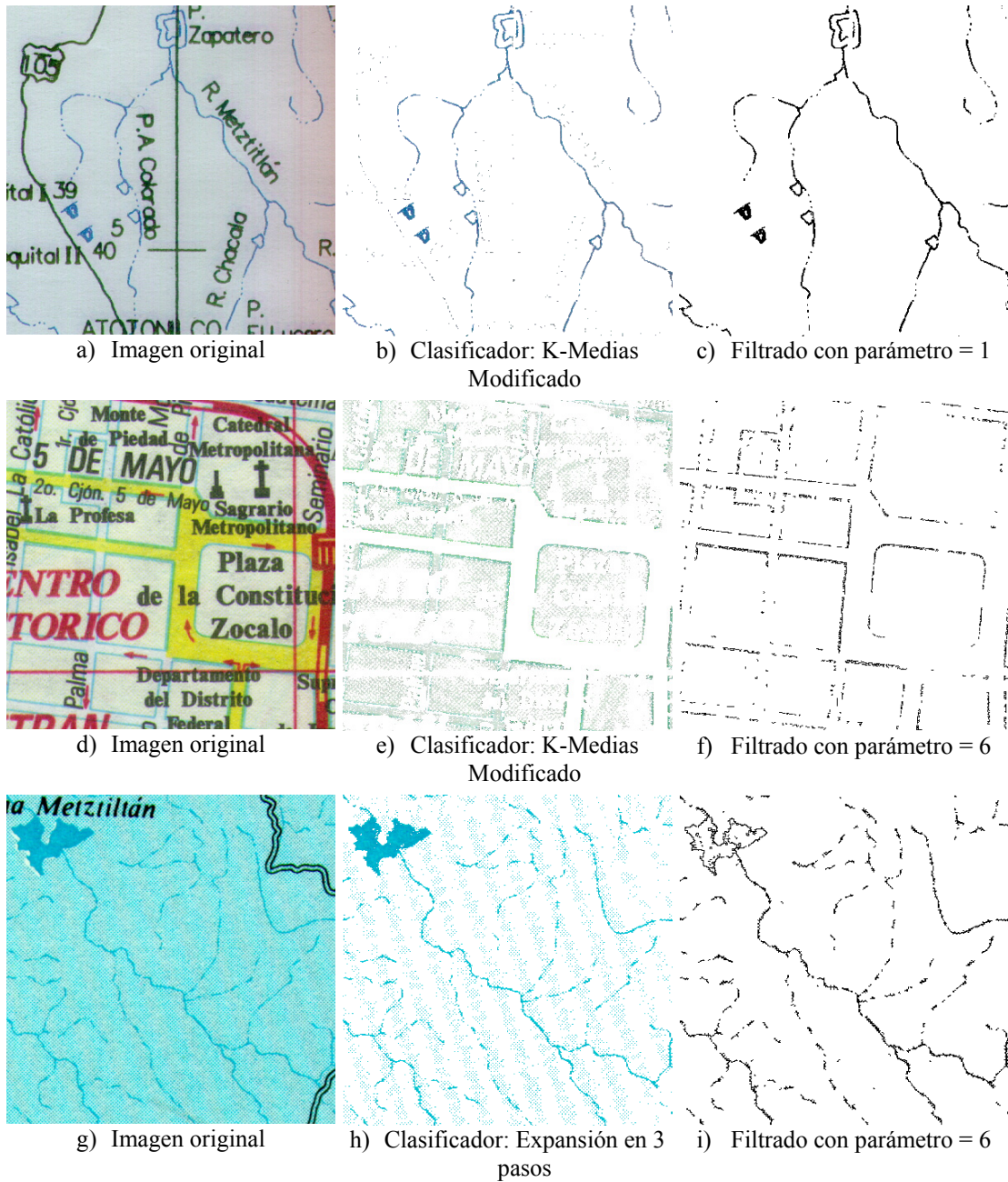
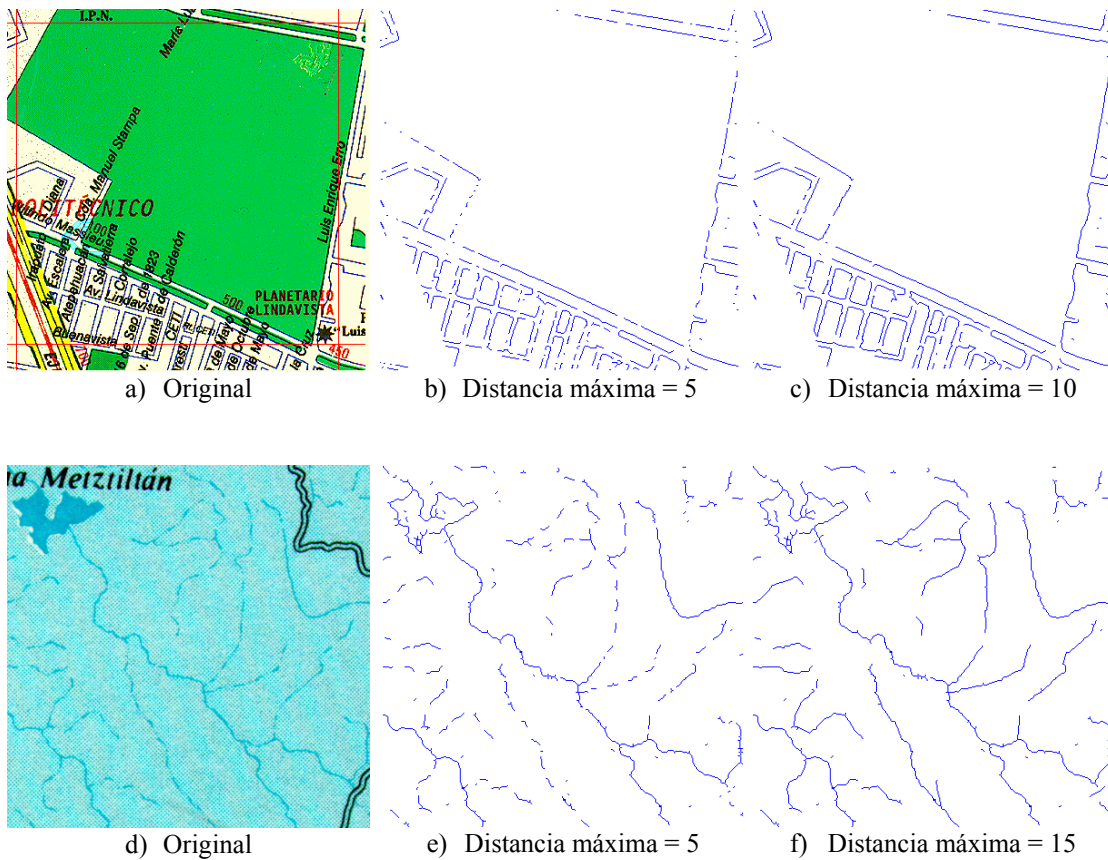


Fig. 6.19 Resultado de la variación de los parámetros de filtrado.

### 6.3.4. Reconstrucción

La distancia de alcance máximo en la reconstrucción se refiere a la máxima distancia que debe de haber entre el punto extremo y su candidato a unirse, ésta puede variar de acuerdo a la cercanía de puntos extremos que no se desean unir, por ejemplo, sería mínima entre líneas paralelas en un mapa topográfico.



**Fig. 6.20** Resultado de reconstrucciones con diferentes distancias máximas.