

Segmentación de imágenes de color

J.J. Báez Rojas^a, M.L. Guerrero^b, J. Conde Acevedo^c, A. Padilla Vivanco^a y G. Urcid Serrano^a

^aCoordinación de Óptica, Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica,
Apartado postal 216 Puebla Pue. 72000 México.

^bUniversidad Tecnológica de la Mixteca,

Km 2.5 Carretera a Acatlima, Huajuapán de León Oax., México.

^cAkasaka Natural Vision Research Center of Telecommunications
Advancement Organization of Japan

Recibido el 27 de noviembre de 2003; aceptado el 22 de abril de 2004

En este artículo proponemos una modificación al sistema de color $I1 I2 I3$ propuesto por Ohta, *et al.* Las componentes modificadas las denominamos $C1 C2 C3$, y se obtuvieron de manera experimental. El sistema $C1C2C3$ lo usamos para segmentar y generar mapas temáticos. Un paso intermedio en el proceso de la segmentación de las imágenes de color es la obtención de imágenes binarias. Este trabajo también propone el uso de dos operaciones algebraicas (multiplicación y suma) entre las imágenes binarias, para una completa segmentación de las imágenes de color. Usando la multiplicación, es posible reducir el ruido que se genera en el proceso de segmentación basado en umbrales.

Descriptores: Sistemas de color; segmentación de imágenes de color; mapas; histogramas.

In this work we propose a modification to the color system $I1, I2, I3$. This color system was developed by Ohta *et al.* We named $C1C2C3$ the modified components, those were experimentally obtained. We use $C1 C2 C3$ to segment and generate maps. During the segmentation process we obtain binary images. In this work we propose two arithmetic operations with the binary images, product and sum. Multiplication reduces the noise aroused during the thresholding segmentation process.

Keywords: Color Systems; Color images segmentation; maps; histograms.

PACS: 87.57.Ce; 87.57.Nk

1. Introducción.

Las técnicas de procesamiento y análisis de imágenes digitales en color, originalmente eran generalizaciones de aquellas usadas para el procesamiento de las imágenes digitales en blanco y negro (tonos de gris, también llamadas monocromáticas). El proceso consistía en transformar la imagen de color del sistema RGB (de sus siglas en inglés Red, Green and Blue, en español llamados los canales rojo verde y azul), al sistema YIQ .

Esta transformación se muestra en la ecuación 1:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.212 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

donde Y representa la luminosidad, e I y Q son las crominancias [1], ver Fig. 1.

El sistema YIQ , también conocido como NTSC (National Television Systems Committee) representado en la Ec. (1), es el que se ha usado tradicionalmente para procesar imágenes de color (detección de orillas, segmentación, etc.). En este proceso se elige la componente Y , que es la que contiene información de los tres canales RGB . A esta componente se le aplican las técnicas diseñadas para el procesamiento y análisis digital de imágenes en tonos de gris. Una vez terminado el proceso (segmentación, detección de orillas, etc.), se hace la transformación inversa y se obtienen los resultados.

En este trabajo proponemos una modificación al sistema de color $I1 I2 I3$ propuesto por Ohta *et al.* [2]. Las componentes resultantes en el sistema modificado las llamamos

$C1C2C3$. Estas componentes permiten segmentar las imágenes digitales de color en regiones homogéneas de color. La segmentación es simple y está basada en el uso de umbrales. Los umbrales son obtenidos a partir de los histogramas de cada componente resultante $C1C2C3$. Usando la definición de multiplicación propuesta en este trabajo, es posible reducir el ruido generado en el proceso de segmentación. Para combinar varias regiones previamente segmentadas usamos la operación suma que también se propone en este trabajo.

2. Estado del arte para la segmentación color

El gran desarrollo de las computadoras personales permite encontrar nuevas aplicaciones para el procesamiento y análisis digital de imágenes. La segmentación de las imágenes digitales es una parte importante para muchas tareas en el análisis y procesamiento digital. Recientemente se han generado una gran cantidad de trabajos que presentan técnicas, modelos y algoritmos para la segmentación de dichas imágenes. Estas técnicas se dividen en cuatro grandes grupos, el primer grupo lo conforman las técnicas de segmentación basadas en los valores de píxel. El segundo grupo contiene técnicas de segmentación basadas en el área. Las técnicas basadas en orillas pertenecen al tercer grupo y finalmente las técnicas basadas en la física es el cuarto grupo.

La segmentación basada en el valor de píxel comprende las técnicas basadas en el histograma. En otras palabras, se obtiene el histograma de la imagen, se identifican algunos máximos y se analizan intervalos que rodean a este máximo

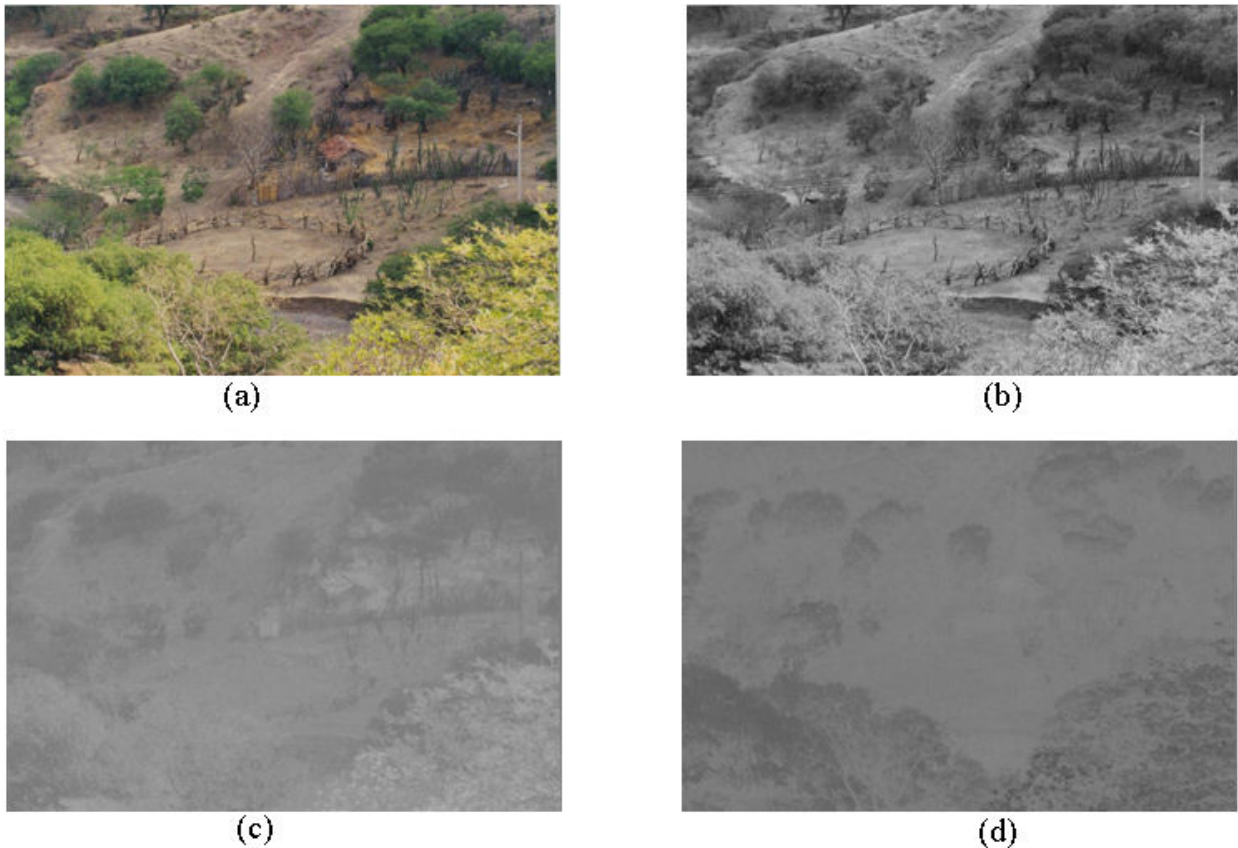


FIGURA 1. (a) Es la imagen original de color. (b) Componente Y , esta componente, contiene información sobre los tres canales de color RGB. (c) Crominancia I . (d) Crominancia Q . Estas imágenes resultan de la transformación NTSC.

durante el proceso de segmentación [3,4]. La segmentación mediante el agrupamiento de píxeles en algún espacio de color de acuerdo a una o más características también se considera dentro del primer grupo mencionado arriba [5,6]. Finalmente, otro gran conjunto de algoritmos que usan el valor de píxel como referencia para la segmentación lo componen aquellos algoritmos que usan agrupamiento difuso en los espacios de color [7,8,9].

Las técnicas de segmentación basadas en el área, también han sido ampliamente investigadas. Ésta se divide en dos grupos, crecimiento de regiones [10,11], y división y combinación de regiones [12,13].

La segmentación de imágenes basadas en orillas se divide en dos grupos. El primer grupo comprende las técnicas locales [14, 15, 16]. Las técnicas globales se encuentran en el segundo grupo [17, 18].

3. Atributos de color $I1$ $I2$ $I3$

El sistema de color propuesto por Yuichi Ohta *et al* [2] fue descubierto experimentando y analizando los resultados de ocho escenas a color. Estas escenas a color fueron digitalizadas con una resolución espacial de 256×256 píxeles con una definición de intensidad de 6-bits por píxel para cada canal RGB .

Ohta calculó los eigenvectores de cada una de las ocho escenas a color, de donde surgieron las tres características ortogonales del color, también denominados atributos de color:

$$I1 = \frac{(R + G + B)}{3}, \quad (2)$$

$$I2 = \frac{(R - B)}{2}, \quad (3)$$

$$I3 = \frac{(2G - R - B)}{4}, \quad (4)$$

las cuales (de acuerdo a lo escrito por Ohta) son componentes importantes para representar información del color.

Representando la transformación del sistema $R\ G\ B$ al Sistema $I1\ I2\ I3$ en forma matricial, se obtiene lo siguiente:

$$\begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{2} & 0 & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{4} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{4} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (5)$$

La componente $I1$, también llamada intensidad, Ohta *et al.* la utilizan para segmentar imágenes en base a la detección de orillas. Esta propuesta es equivalente a transformar el sistema $R\ G\ B$ al representado por la Ec. (1) usando coeficientes diferentes en la transformación.

4. Modificación propuesta $C1$ $C2$ $C3$

La modificación propuesta por este artículo se obtuvo de forma experimental. La propuesta surge al analizar visualmente las imágenes $I1$, $I2$ e $I3$ resultantes en el sistema propuesto por Ohta [Ec. (5)]. La componente $I1$ [ecuación (2)] se obtiene del promedio de los tres canales rojo verde y azul, por este motivo tiene la información de los tres canales. Desde este punto de vista la componente $I1$ propuesta por Ohta es similar a la componente Y [ecuación. (1)] del sistema YIQ .

Por otro lado $I2$, que involucra la diferencia del canal rojo y azul [Ec. (3)], tiene zonas claramente definidas. Al hacer diferencias por pares de canales $R - G$, $G - B$ y $B - R$, en los histogramas resultantes de cada diferencia se hace una distinción clara entre las diferentes zonas homogéneas de color. Estas diferencias permiten hacer una segmentación más adecuada mediante umbrales.

La transformación propuesta en este trabajo involucra a los tres canales, rojo verde y azul (RGB) y se representa matricialmente con la siguiente ecuación:

$$\begin{bmatrix} C1 \\ C2 \\ C3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (6)$$

De una manera expandida estas nuevas componentes se escriben de la siguiente forma:

$$C1 = \frac{(R - G)}{2}, \quad (7)$$

$$C2 = \frac{(G - B)}{2}, \quad (8)$$

$$C3 = \frac{(B - R)}{2}. \quad (9)$$

Las componentes $C1$, $C2$ y $C3$ son ortogonales. Dependiendo de los valores en cada canal (R , G , y B), los valores resultantes para $C1$, $C2$ y $C3$ pueden ser negativos. Para evitar los valores negativos se hace un mapeo lineal de la forma:

$$y = x + 127, \quad (10)$$

representado gráficamente en la Fig. 2. En la Ec. (10) x representa el valor de píxel (negativo). Con la transformación propuesta; ese valor de píxel se mapea a un intervalo de entre 0 y 255, es decir los valores resultantes son todos positivos.

5. Proceso de Segmentación

La obtención de las imágenes digitales a partir de la aplicación del Sistema de Color $C1$ $C2$ $C3$ propuestas en la matriz de transformación (6) representa la parte inicial del proceso de segmentación. Se obtienen tres imágenes, una para cada componente resultante $C1$, $C2$ y $C3$ respectivamente. Posteriormente, estas imágenes son transformadas usando la Ec. (10) para evitar los valores negativos y así realizar un desplazo adecuado de la imagen.

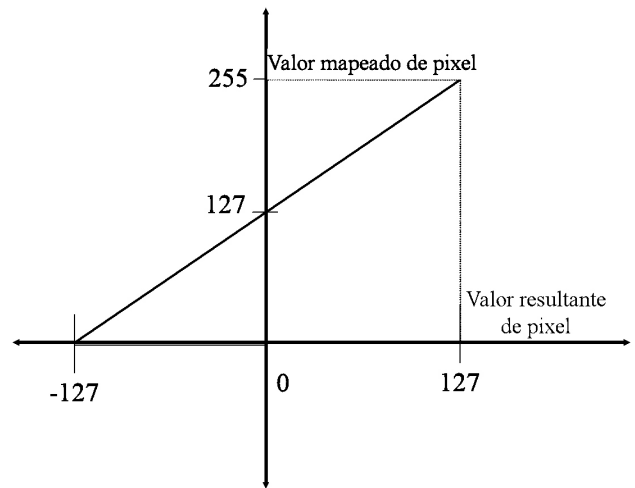


FIGURA 2. Ajuste de los valores de píxel por medio de una transformación lineal. De esta manera se evitan los valores negativos en el píxel resultante en las componentes $C1$, $C2$, y $C3$.

A continuación, para cada componente $C1$, $C2$ y $C3$ se obtiene el histograma. Después de analizar el histograma se construye una imagen binaria, es decir, que tiene valores de píxel cero y uno. Esta imagen binaria corresponde a la zona que tiene el color homogéneo que se desea segmentar. Los valores de píxel se eligen al analizar el histograma [19,20]. Posteriormente, la imagen binaria es multiplicada con la imagen original (usando los tres canales R G B) y se obtiene la imagen segmentada.

A la imagen segmentada se le puede cambiar el color, dependiendo de las necesidades. Este cambio es muy sencillo, pues sólo se tiene que usar una tabla de color predefinida. Este proceso puede ser utilizado para generar mapas temáticos. Debido a que la primera segmentación da como resultado una imagen binaria, es posible definir entre este tipo de imágenes dos tipos de operaciones.

Las operaciones propuestas para las imágenes binarias las llamamos multiplicación (*) y suma (+). Las cuales se definen de la siguiente manera:

$$F_{ij} = A_{ij} * B_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } A_{ij} = B_{ij} = 1 \\ 0 & \text{otro caso,} \end{cases} \quad (11)$$

donde F_{ij} es el valor del píxel en la imagen resultante A_{ij} y B_{ij} son los valores de píxel, para la posición i, j dentro de las imágenes binarias. Con la multiplicación (ecuación 11), solo permanecen las zonas en aquellos lugares en donde se intersectan dos zonas blancas. En otras palabras es la intersección de los dos conjuntos. Con esta operación de multiplicación es posible reducir el ruido en la imagen resultante.

La suma de imágenes la definimos de la siguiente manera:

$$F_{ij} = A_{ij} + B_{ij} = \begin{cases} A_{ij} & \text{si } A_{ij} \neq 0 \\ B_{ij} & \text{otro caso,} \end{cases} \quad (12)$$

donde F_{ij} es el valor del píxel en la imagen resultante A_{ij} y B_{ij} son los valores de píxel para la posición i, j dentro

de las imágenes de color. La operación suma nos permite superponer imágenes de color con los resultados previos. Esta operación es muy útil para la creación de mapas temáticos.

6. Resultados y discusión

Para este trabajo se utilizó la carta topográfica de Oaxaca, clave E14-9, en escala 1: 250 000, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Dadas las proporciones de esta carta, sólo se tomó un fragmento que contiene información representativa de las regiones en color del mapa total. La Fig. 3 muestra la imagen original digital en color que sirvió de base para el desarrollo de este trabajo. La Tabla I muestra la convención de colores, para cada región usada en esta carta topográfica.

La Fig. 4 corresponde a la componente *I1* la cual tiene información sobre los tres canales *R G B* y es equivalente a una imagen en blanco y negro de la imagen original. Las Fig. 5 y 6 son las imágenes correspondientes a *I2* e *I3* respectivamente. La componente *I2*, es el resultado de la diferencia de dos canales de color. Por eso, algunas regiones aparecen claramente separadas.

TABLA I. Simbología usada en la carta topográfica. Esta simbología es una convención internacional.

Simbología	Región de Color
Área de bosque o selva denso, agricultura	Región verde
Carretera pavimentada	Línea roja
Terracería	Línea roja y blanca
Curvas de nivel	Líneas café
Lugares poblados	Zona amarilla
Corrientes de agua	Líneas azules
Lagos	Región azul

La Ec. (6) es la transformación propuesta en este trabajo. En las Fig. 7, 8 y 9 muestran las imágenes resultantes de la transformación; las componentes *C1*, *C2*, y *C3* respectivamente. En estas imágenes se aprecian bien definidas las diferentes zonas dentro del mapa. Las Fig. 10, 11 y 12 muestran los histogramas para cada una de estas componentes. Debido a que tiene zonas muy grandes de color y zonas pequeñas (zona amarilla o roja ver imagen original), es necesario modificar las condiciones de visualización de estos histogramas

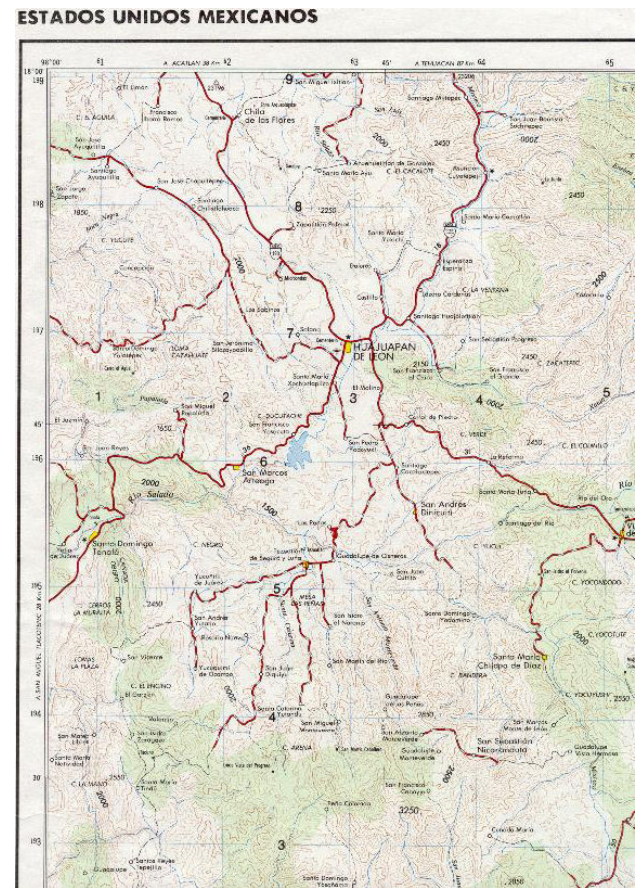


FIGURA 3. Imagen original (digital en color), fragmento de la carta topográfica de Oaxaca.

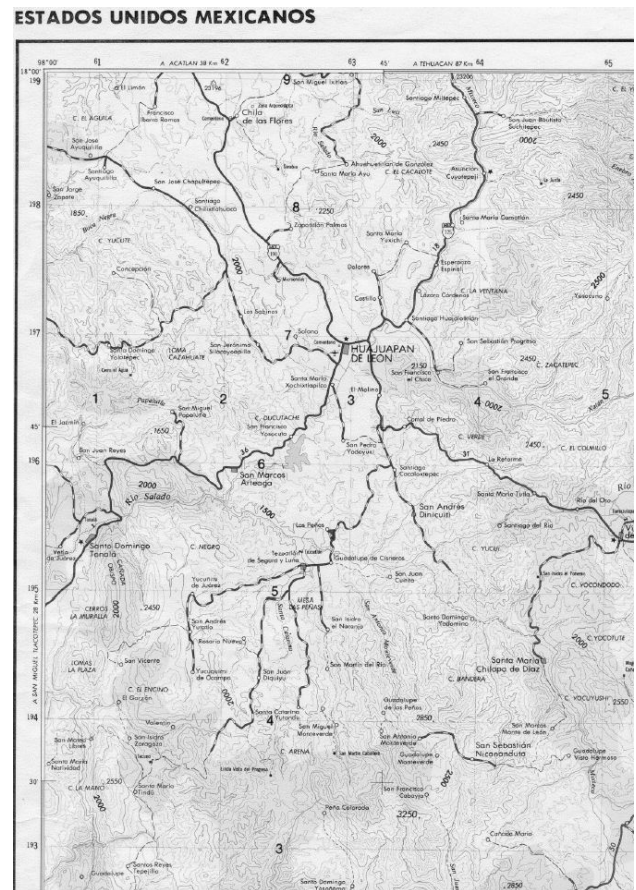


FIGURA 4. Componente *I1*, propuesta por Ohta et al. En esta imagen permanece la información de las tres bandas (RGB) de la imagen original.

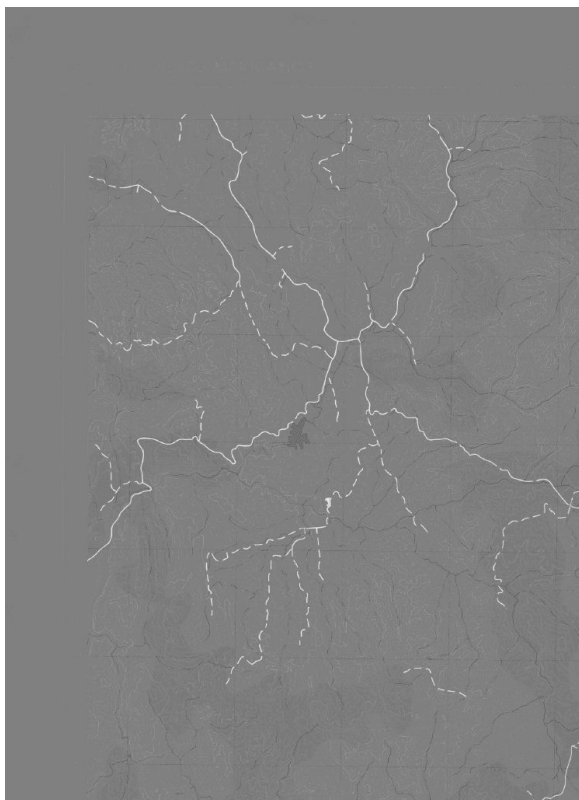


FIGURA 5. Imagen resultante para la componente I_2 , propuesta por Ohta *et al.*

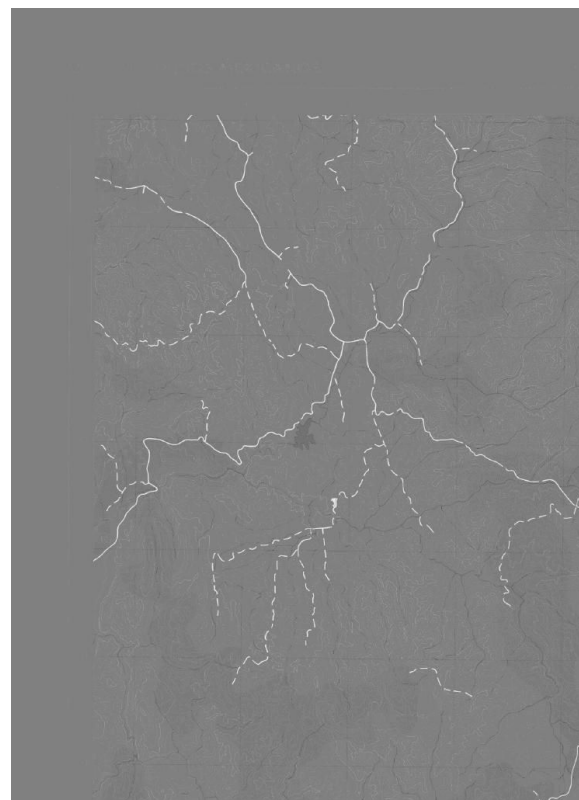


FIGURA 7. Componente C_1 , esta componente resulta de la diferencia de colores R-G.



FIGURA 6. Imagen resultado de aplicar la fórmula de la componente I_3 propuesta por Ohta *et al.*



FIGURA 8. Componente C_2 , resultante de a diferencia de los canales G y B.

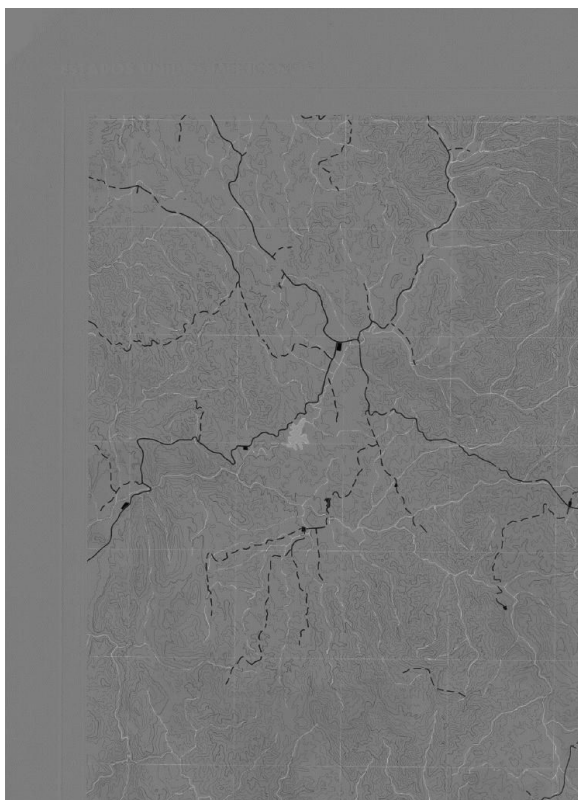


FIGURA 9. Componente $C3$, imagen resultante de la diferencia entre los canales B y R.

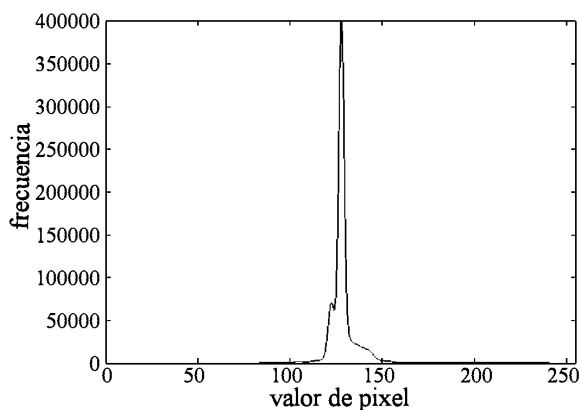


FIGURA 10. Histograma correspondiente a la componente $C1$.

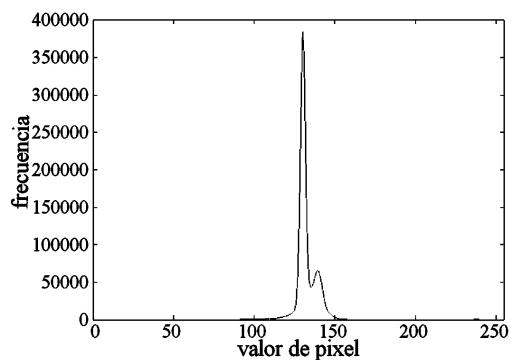


FIGURA 11. Histograma correspondiente a la componente $C2$.

para poder encontrar todos los máximos y valles y de esta manera determinar los valores de píxel en las zonas a segmentar.

La Fig. 13 muestra la imagen binaria que resulta al segmentar la componente $C1$ en el intervalo $[165, 255]$. La imagen binaria se multiplica con la imagen de color original y el resultado se muestra en la Fig. 14.

La multiplicación usada para esta operación está definida en la Ec. (11). Este proceso se usa en la segmentación de cualquiera de las imágenes que se presentaran en esta sección de resultados.

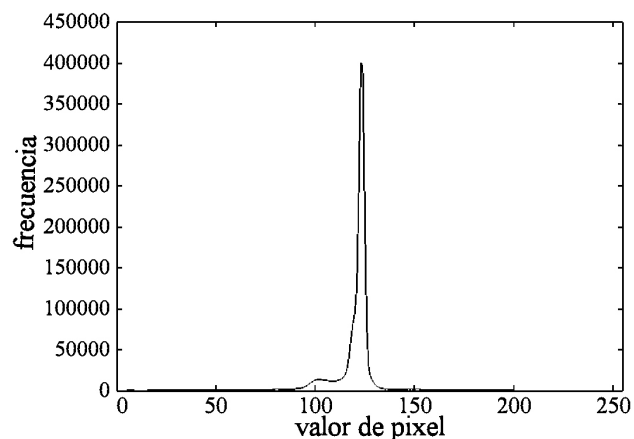


FIGURA 12. Histograma correspondiente a la componente $C3$.

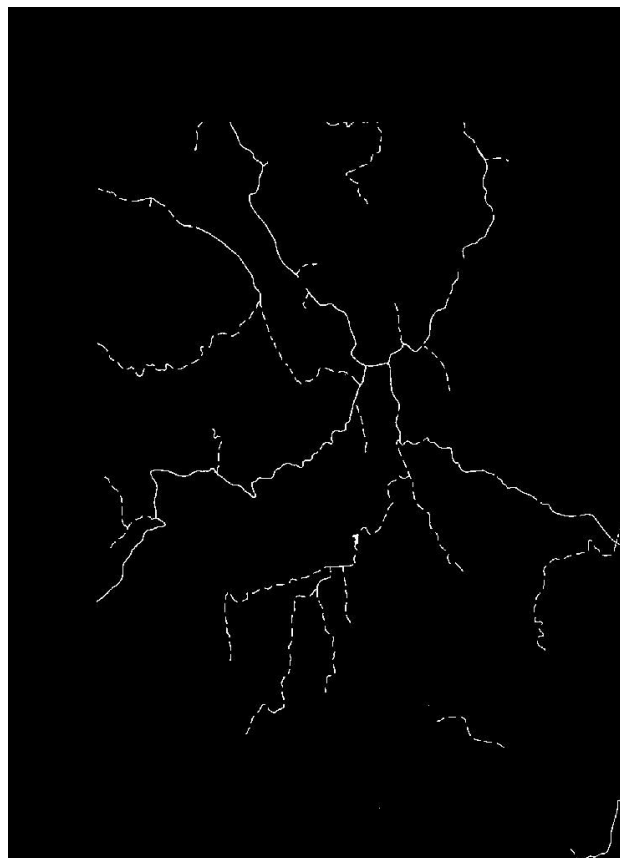


FIGURA 13. Imagen binaria, resultante al segmentar la componente $C1$.



FIGURA 14. Imagen de color segmentada. Esta se obtiene al multiplicar la imagen binaria con la imagen de color original.

Algunos colores aparecen bien definidos en una u otra componente. En este caso, segmentando esa componente es suficiente para obtener una imagen de buena calidad (ver Fig. 14). Sin embargo, otros colores aparecen mezclados con tonos de gris. Para hacer una segmentación correcta, proponemos segmentar en las tres componentes y multiplicar las imágenes binarias de las tres componentes usando la Ec. (11). La Fig. 15, muestra el resultado de segmentar el color amarillo. Para obtener la Fig. 15, se segmentó en la componente $C2$. Observando con atención es posible encontrar ruido provocado por la superposición de dos colores, en este caso del color rojo.

Analizando la transformación matricial en la Ec. (6), y tomando en cuenta la transformación de la ecuación 10, se deduce que los tonos de gris deberán de estar en una vecindad del valor de píxel 127 para las tres bandas $C1$, $C2$ y $C3$. En otras palabras, los tonos de gris se obtienen cuando el valor del píxel es el mismo en los tres canales RGB , es decir $R_{ij} = G_{ij} = B_{ij}$. Por tal motivo, en los histogramas correspondientes a las bandas $C1$, $C2$ y $C3$, los valores de gris siempre van a estar en una vecindad del valor 127. Es necesario considerar que en el caso de colores substractivos (amarillo, magenta y cyan), en los cuales dos canales tienen el mismo valor, por ejemplo $R_{ij} = G_{ij}$, $G_{ij} = B_{ij}$ o $R_{ij} = B_{ij}$, los valores de estos píxeles también caerán en



FIGURA 15. El color amarillo se segmentó usando solo la componente $C3$, en esta componente al segmenta el color amarillo, también aparece contaminación del color rojo.

ese intervalo de uno de los tres histogramas. De la misma manera los colores puros intensos rojo ($R_{ij} = 255$, $G_{ij} = 0$, $B_{ij} = 0$), verde ($R_{ij} = 0$, $G_{ij} = 255$, $B_{ij} = 0$), y azul ($R_{ij} = 0$, $G_{ij} = 0$, $B_{ij} = 255$) en alguna de las tres componentes $C1$, $C2$ o $C3$ aparecerán mezclados con los tonos de gris. Para poder segmentar los tonos de gris (en general cualquier color) de una manera correcta y completa es necesario segmentar la misma zona en las tres componentes $C1$, $C2$ y $C3$. La Fig. 16 muestra el resultado de segmentar los tonos de gris para la componente $C2$. Obsérvese que también aparece información de los colores cyan y rojo. En otras palabras, el color cyan y rojo, son ruido que surge al hacer la segmentación binaria usando solo un canal, pues nosotros estamos interesados en segmentar solo los tonos de gris que aparecen en la imagen original. Para lograr una mejor segmentación, proponemos segmentar en las tres componentes $C1$, $C2$ y $C3$. De esta manera se elimina una gran cantidad de ruido.

La imagen binaria se obtiene al hacer la clasificación de píxeles de acuerdo a los intervalos propuestos en el umbral; este proceso genera ruido. El ruido generado en el proceso de binarización, se reduce al hacer la multiplicación propuesta en la Ec. (11). El ruido se reduce con la multiplicación, debido a que cada componente $C1$, $C2$ y $C3$ genera una imagen binaria diferente y la imagen resultante de multiplicar las tres

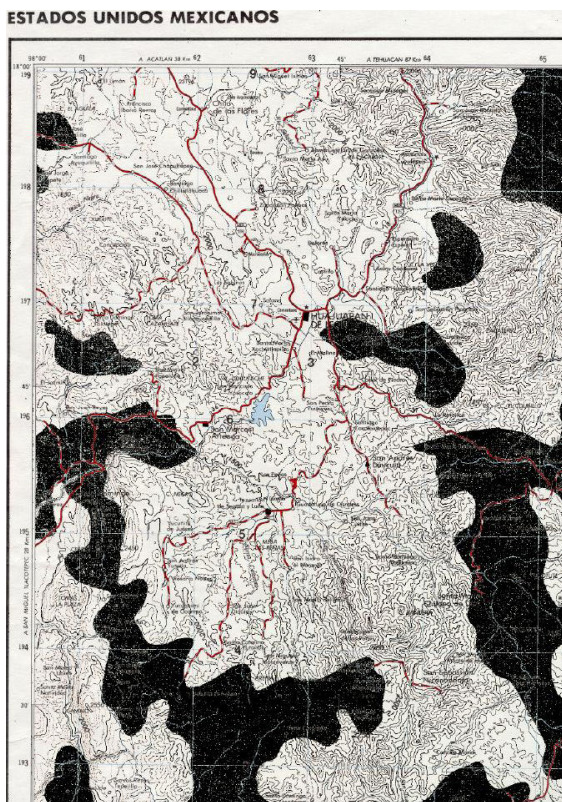


FIGURA 16. Esta imagen se obtiene al segmentar la componente C2, en el intervalo correspondiente a los tonos de gris. Los tonos de gris aparecen contaminados con rojo y cyan.



FIGURA 17. Segmentación de las regiones con tonos de gris, usando las tres componentes C1, C2, y C3.

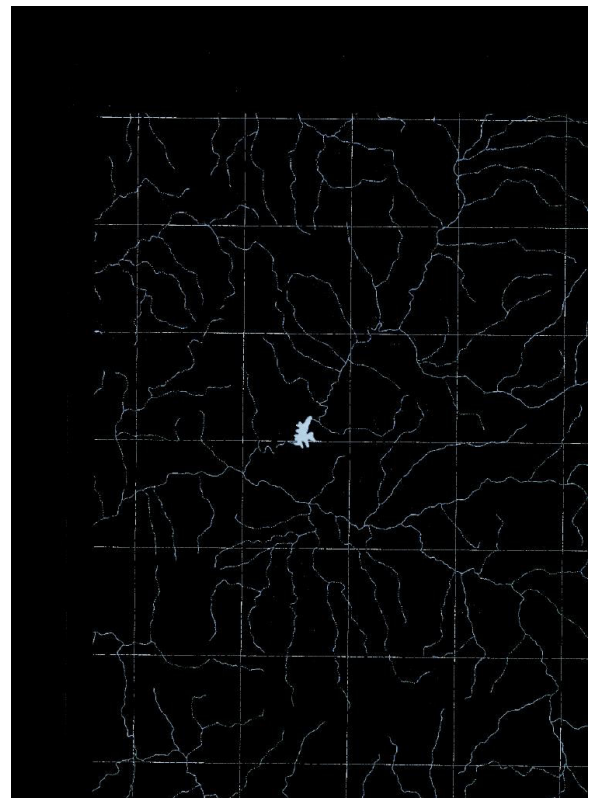


FIGURA 18. Resultado de segmentar el color azul en los tres componentes.

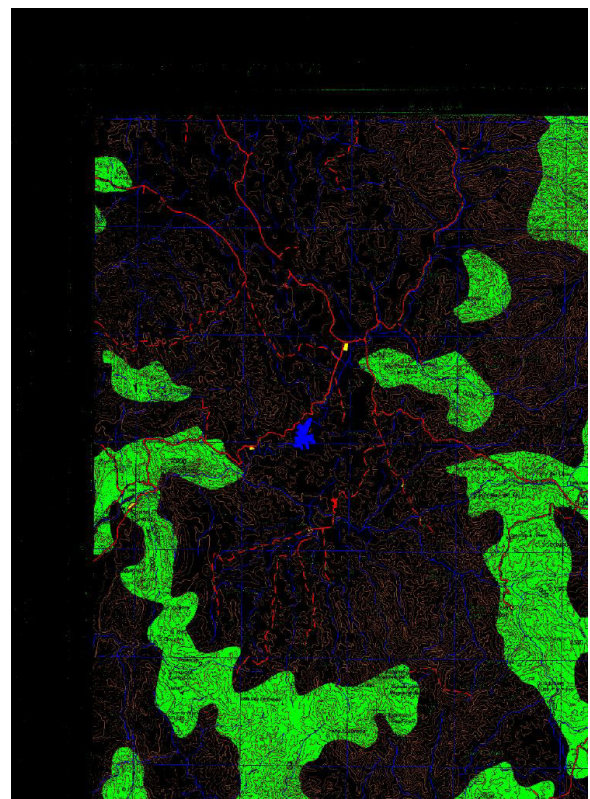


FIGURA 19. Esta imagen es el resultado de la suma de varias regiones previamente segmentadas, a las cuales se les modificó el color original.

imágenes binarias va a ser uno si y sólo si, las tres imágenes binarias resultantes tienen valor de píxel igual a uno.

Las Fig. 17 y 18 muestra el resultado de segmentar los colores incluyendo los tonos de gris en las tres componentes, y después de una multiplicación como la propuesta arriba, se obtiene una imagen segmentada de alta calidad.

Es importante agregar que las técnicas propuestas en este trabajo nos permiten pseudo colorear las imágenes resultantes. Por tal motivo, es posible generar mapas temáticos de una manera semiautomática. La Fig. 19, muestra el resultado después de haber sumado algunas zonas segmentadas y haberles cambiado el color original.

7. Conclusiones

Se propuso una modificación al sistema de color elaborado por Ohta *et al.*, esta modificación resulta en un sistema de

color cuyas componentes son ortogonales. Los resultados demuestran que es posible segmentar regiones de color. La propuesta de este trabajo es que se segmenten en las tres componentes resultantes, para posteriormente hacer una multiplicación para reducir el ruido generado en la segmentación binaria.

En caso de requerir una mayor calidad en las imágenes, es posible aplicar técnicas para la eliminación de ruido. Estas técnicas son las conocidas para el manejo de imágenes binarias, y se deben de aplicar en la etapa anterior a la segmentación de la imagen de color. Todas esas operaciones deberán de ser realizadas sobre las imágenes binarias.

El hecho de obtener una imagen binaria para cada canal $C1$, $C2$ y $C3$ en una etapa intermedia, realizando la operación de multiplicación propuesta en la Ec. (11) permite reducir el ruido. De la misma manera, este proceso permite modificar la tabla de color de la imagen resultante.

1. Lim, Jae S., *Two-dimensional signal and image processing*, (USA, Ed. Prentice-Hall, 1996).
2. Yu-Ichi Ohta, Takeo Kanade, and Toshiyuki Sakai, *Computer Graphics and Image Processing* **13** (1980) 222.
3. R. Ohlander, K. Price, and D.R. Reddy, *Computer Graphics and Image Processing* **8** (1978) 313.
4. X. Lin and S. Chen, *Proc. IEEE Conf. on Robotics and Automation Sacramento, California*, (April 1991 1998-2003) 991.
5. M. Celenk, *Proc. Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*. Ann Arbor MI. USA, **5-9** (June 1988) 437.
6. S.E. Umbaugh, R.H. Moss, W.V. Stoecker, and G.A. Hance, *IEEE Engineering in Medicine and Biology* **123** (1993) 75.
7. Y.W. Lim, and S.U. Lee, *Pattern Recognition*, **23** (1990) 935.
8. T.L. Huntsberger, C.L. Jacobs, and R. L. Cannon, *Pattern Recognition* **18** (1985) 131.
9. M. Trivedi and J.C. Bezdek, *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics* **16** (1986) 589.
10. M. Amadasun and R.A. King, *Pattern Recognition* **21** (1988) 261.
11. F. Meyer, *Proc. IEE Int. Conf. on Image Processing and its Applications*, Maastricht, Netherlands: 7- 9 April 1992,
12. R. Schettini, *Pattern Recognition Letters* **14** (1993) 499.
13. C.L. Huang, T.Y. Cheng, and C.C. Chen, *Pattern Recognition* **25** (1992) 1217.
14. M. Yachida and S. Tsuji, *Pattern Recognition* **3** (1971) 307.
15. T.L. Huntsberger and M.F. Descalzi, *Pattern Recognition Letters* **3** (1985) 205.
16. D.C. Baker, S. S. Hwang and J. K. Aggarwal, *Journal of the Optical Society of America A* **6** (1989) 938.
17. F. Perez and C. Koch, *International Journal of Computer Vision* **12** (1994) 17.
18. W.A. Wright, *Image and Vision Computing* **7** (1989) 144.
19. Kenneth R. Castleman, *Digital Image Processing* (USA, Ed. Prentice Hall, 1996).
20. Rafael Gonzalez, y Richard Woods, *Tratamiento Digital de Imágenes*, (USA, Copublicación de Addison-Wesley Iberoamericana, S.A. y Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1996).