

Segmentación Visual Robusta utilizando el Plano RCrR y la Distancia de Mahalanobis

Robust Visual Segmentation using RCrR Plane and Mahalanobis Distance

Diego Armando Arévalo Casallas*, David Ricardo Castañeda Obando**, José Ignacio Castañeda Fandiño

Fecha Recepción: Septiembre 26 de 2014 Fecha Aceptado: Diciembre 1 de 2014

RESUMEN

En este artículo se propone un algoritmo robusto ante los cambios de iluminación para la detección de la piel en imágenes, se utiliza una base de datos que consta de 50 imágenes en condiciones controladas y 50 en condiciones no controladas, las imágenes cuentan con personas en forma frontal, mostrando rostro, manos, y brazos. Se evaluán 5 algoritmos para realizar corrección de color los cuales son: Corrección sencilla con canal verde, Compresión canal de color, Expansión canal de color, Referencia fija, Corrección Gamma. Se evaluán 4 algoritmos para segmentación los cuales son: Color de piel en RGB, Referencia de Histograma, Distancia Euclidiana y Distancia de Mahalanobis. El algoritmo propuesto utiliza el método referencia fija unido al algoritmo de corrección gamma para corrección de color y realiza segmentación de la piel a partir de un plano de color RCrR, encontrado de la transformación de las imágenes utilizando los espacios RGB y YCbCr, finalmente utiliza la distancia de Mahalanobis. Como resultado se obtiene un valor promedio de sensibilidad igual 99.36 % y de especificidad igual 84.31 %.

Palabra clave: Corrección foto descolorida, Suposición de mundo gris, Corrección gamma, iluminación, segmentación color de piel, Distancia Euclidiana, Distancia Mahalanobis, Histograma.

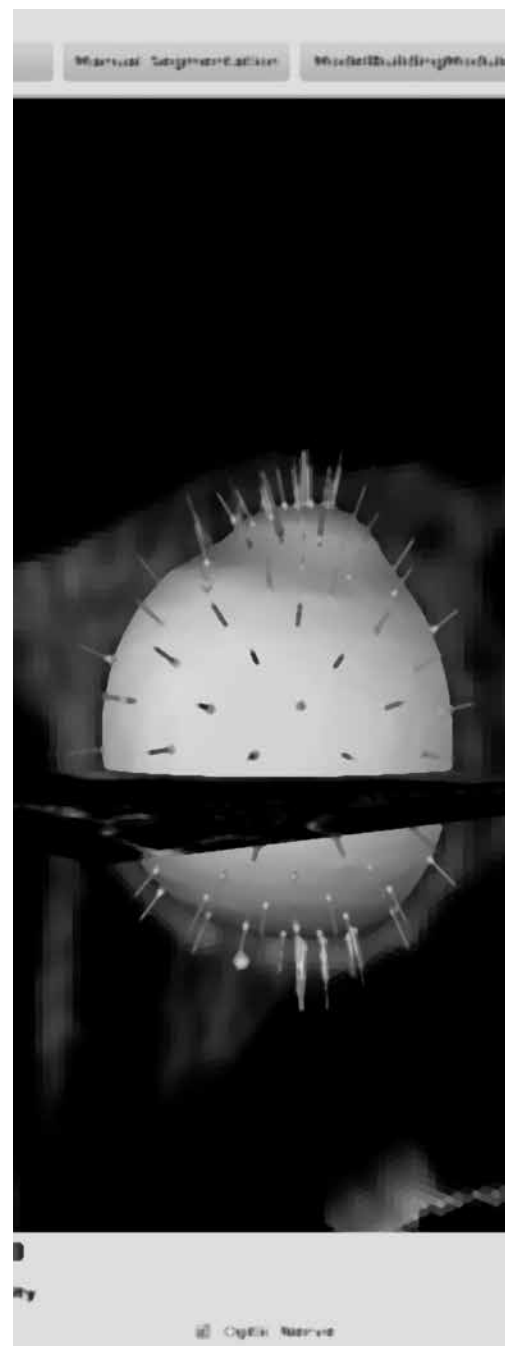
ABSTRACT

In this paper a robust algorithm against illumination changes for skin detection in images is proposed. A database with 50 controlled condition images and 50 without controlled conditions of people in frontal position showing face, hands and arms was used. Five algorithms to perform color

* Estudiante Ingeniería Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, Correo: diaarevaloc@gmail.com.

** Estudiante Ingeniería Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, Correo: dr.oaiba@gmail.com.

*** Candidato Phd. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Ingeniero electrónico con especialización en telecomunicaciones móviles, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Postulado a Phd en Bioética, Universidad del Bosque Bogotá, Colombia, Correo: icastaneda@udistrital.edu.co.



correction are evaluated: Simple Correction with Green Channel, Color Channel Compression, Color Channel Expansion, Fixed Reference and Gamma Correction. And four algorithms for segmentation are evaluated as well: RGB Skin Color, Reference Histogram, Euclidean Distance and Mahalanobis Distance. The proposed algorithm uses the Fixed Reference method together with Gamma Correction for color correction and performs the skin segmentation based on an RCrR color plane, found by making the transformation of the images using RGB and YCbCr spaces, finally Mahalanobis Distance is used. An average sensitivity value of 99.36 % and specificity of 84.31 % were obtained as result.

Keywords: Faded photo correction, gray world assumption, gamma correction, illumination, skin color, segmentation, euclidean distance, mahalano-bis distance, histogram.

1. INTRODUCCIÓN

Diferentes investigadores han desarrollado con éxito métodos de procesamiento y análisis inteligentes basados en la información de color [4] [10], sin embargo, es bien sabido que la información de color es muy sensible al cambio de la iluminación, el mismo objeto puede tener diferentes colores para diferentes condiciones de iluminación. La constancia del color para imágenes tanto controladas como no controladas es un tema clave de investigación. Existen diferentes métodos desarrollados para proporcionar constancia de color, por ejemplo, la suposición del mundo gris ampliamente utilizada con la hipótesis de que la escena promedio capturada en una imagen es gris [8]. Por otro lado el color de la piel se ha utilizado como característica importante para diversas aplicaciones de consumo tales como la interacción visión humano-computadora y el reconocimiento de rostros en tiempo real [6][7][14]. Sin embargo, la detección automática de color de la piel es una tarea difícil ya que los espacios de color en una imagen dependen en gran medida de la iluminación con la que se tomó la imagen.

Para la detección de color de la piel se deben considerar varios aspectos entre ellos: la selección del espacio de color y la forma de utilizar la distribución de color para establecer un buen modelo de color de piel. Hoy en día los espacios de color mas comunes son: RGB, HSV, TSL, YIQ, YCbCr, CIE-XYZ, CIELab, CIE-Luv, YUV entre

otros [1] [3]. En la actualidad, los algoritmos de detección de color de la piel habituales se basan principalmente en el espacio de color YCbCr [13]. En este artículo se propone un algoritmo de detección de color de la piel para rostros y manos donde se realiza el proceso mostrado en la Fig. 1, donde se presenta en una primera parte el proceso de adquisición de las imágenes correspondiente a la **Sección 2**, posteriormente en la **Sección 3** se ilustran algunos métodos utilizados para la corrección de color, luego la **Sección 4** muestra los resultados de la corrección de color y se escoge el de mejor desempeño, en la **Sección 5** se muestran las propuestas e implementación de la segmentación de piel por medio de varios métodos donde se utilizan distintos espacios de color incluyendo el nuevo plano RCrR. Los resultados del algoritmo realizado se muestran en la **Sección 6** y las conclusiones en la **Sección 7**.

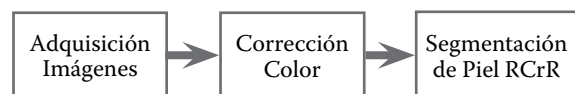


Figura 1. Descripción del método para segmentar piel.

2. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

En el desarrollo de este proyecto se construyó una base de datos con 100 imágenes de personas en forma frontal, tomando tres cuartas partes del cuerpo, donde aparece el rostro, manos y brazos, que son las regiones de interés. Esta base de datos se divide en dos grupos de 50 imágenes

cada uno. El primero de ellos está compuesto por imágenes en condiciones controladas, donde el fondo, la iluminación, y la distancia entre el objeto cámara son constantes; por otra parte, el segundo grupo son imágenes en condiciones no controladas puesto que ninguno de los parámetros antes mencionados son constantes en las imágenes. Adicionalmente, las imágenes fueron normalizadas (valores entre 0 1) y se trabajó con un tamaño de 411 x 548 píxeles, con el fin de mejorar el tiempo en el procesamiento de los respectivos algoritmos y para dejar una tamaño estándar para todas las imágenes.

3. CORRECCIÓN DE COLOR

Se seleccionaron los métodos: Corrección utilizando Canal Verde, Compresión del Canal de Color, Expansión del Canal de Color, Referencia Fija y Corrección Gamma [8][12][9], los cuales se compararon, para elegir el más adecuado para realizar el procesamiento en la detección de rostros y manos, estos métodos parten de una imagen que se encuentra en el espacio de color RGB (Red, Green, Blue) donde se tienen escalares que operan los canales de la imagen de forma individual para realizar la corrección del color. Los resultados parciales se pueden observar en la Fig. 2 en la cual se cuantizaron los niveles de gris entre 0 a 1, los métodos serán descritos a continuación.

A. Corrección utilizando el Canal Verde

Este algoritmo utiliza imágenes en RGB, y se debe encontrar el valor de dos escalares α_R y α_B , los cuales están dados por:

$$\alpha_R = G/R \quad \alpha_B = G/B \quad (1)$$

Donde R , G , B son los valores promedio de cada canal de color, finalmente el color corregido se obtiene de la multiplicación del escalar hallado por cada uno de los canales de color como se muestra en la ecuación (2), donde R' , G' y B' son los canales resultantes ya corregidos.

$$R' = R \cdot \alpha_R, \quad G' = G, \quad B' = B \cdot \alpha_B \quad (2)$$

En la Fig. 2(b) se visualiza en el histograma que el canal G permanece igual al de la imagen

original (Fig. 2(a)) y los canales restantes R y B son modificados.

B. Compresión del Canal de Color

Este método es otra alternativa para la corrección de color, se basa en encontrar el valor de escalares; α_R , α_G y α_B los cuales están dados por la ecuación (3).

$$\alpha_R = Z_{min}/R \quad \alpha_G = Z_{min}/G \quad \alpha_B = Z_{min}/B \quad (3)$$

Donde R , G , B son los promedios de cada uno de los canales, además Z_{min} es el valor del canal con menor magnitud promedio, esta referencia será menor o igual que 1, esto garantiza que al realizar la operación con los escalares como se muestra en la ecuación (4) la magnitud del canal será menor o simplemente igual a la que se tenía en el canal original.

$$R' = R \cdot \alpha_R, \quad G' = G \cdot \alpha_G, \quad B' = B \cdot \alpha_B \quad (4)$$

La Fig. 2(c) muestra los resultados para este método, en el histograma se puede apreciar la contracción de todos los canales, pasando de valores por encima de 0.78 mostrados en la Fig. 2(a) para quedar con valores por debajo de 0.78 en la imagen que se toma como referencia.

C. Expansión del Canal de Color

A continuación se describe otro método para la corrección de color, su funcionamiento también se basa en encontrar el valor de tres escalares que son; α_R , α_G y α_B , dados por la ecuación (5):

$$\alpha_R = Z_{max}/R \quad \alpha_G = Z_{max}/G \quad \alpha_B = Z_{max}/B \quad (5)$$

Donde Z_{max} es el valor del canal con mayor magnitud promedio, esto quiere decir que al realizar la operación con los escalares la magnitud de los canales será mayor o simplemente igual a la de partida, se utiliza la ecuación (4) para calcular los planos de color resultantes. En la Fig. 2(d) se observan los resultados para este método, en el histograma se puede apreciar la expansión de los canales, pasando de un valor por encima de 0.78 mostrado en la Fig. 2(a) para quedar con valores de 1, llegando a saturar alguno de los canales.

D. Referencia Fija

Este método se basa en una referencia fija llamada Z_{ref} , que se obtuvo al calcular el valor promedio de la intensidad de las imágenes en la base de datos y tiene un valor de 0.504, con este valor y con los valores promedio de cada canal (R , G , B) se calculan los escalares como se muestra en la ecuación (6) para los planos corregidos se utiliza nuevamente la ecuación (4).

$$\alpha_R = Z_{ref} / R \quad \alpha_G = Z_{ref} / G \quad \alpha_B = Z_{ref} / B \quad (6)$$

Los resultados obtenidos se muestran en la Fig. 2(e), donde se observa en el histograma que al igual que los dos métodos anteriores para cada canal puede contraerlos o expandirlos, teniendo el mismo problema de llegar a saturar algún canal.

E. Corrección Gamma con Referencia Fija

La corrección gamma es una transformación de la intensidad, por otro lado también se tiene que

es un algoritmo de tipo no lineal, está basando únicamente en la intensidad que tenga cada píxel en cada canal, este valor está normalizado y su dominio es $X \in [0, 1]$ y Y representan el rango de intensidad. La corrección gamma [8] se describe por la ecuación (7).

$$X = Y^\gamma \quad (7)$$

De esta expresión se deduce que para $\gamma > 1$ el resultado tiende a comprimirse, mientras que con $\gamma < 1$ el resultado tiende a expandirse. Este algoritmo se aplica a cada canal de color por separado. Para este método, al igual que en el método reference fixed, se calcula el valor promedio de la intensidad de las imágenes en la base de datos y se toma como referencia. Existen diferentes métodos para hallar el valor adecuado de γ [15] [2], para este caso se utiliza un método iterativo de búsqueda [8]. El proceso se describe de forma más detallada en el algoritmo 1.

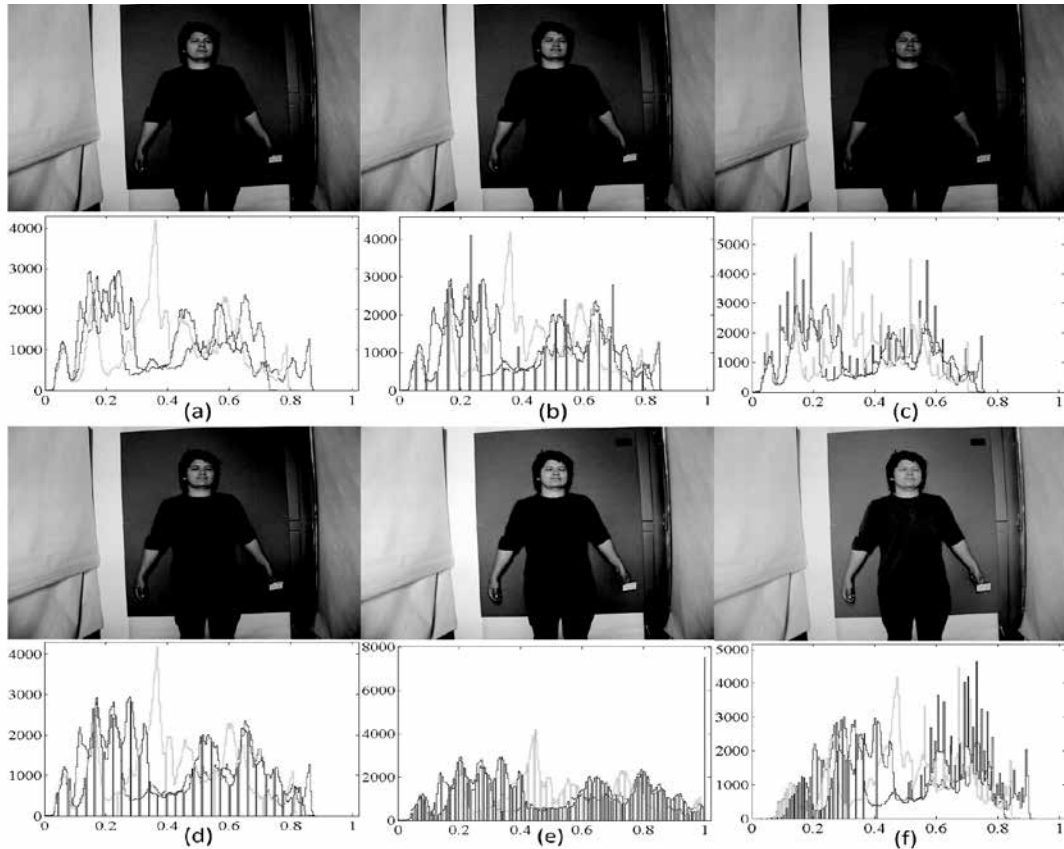


Figura 2. Comparación de los métodos de corrección de color. (a) Imagen original, (b) *Corrección Utilizando el Canal Verde*, (c) *Compresión del Canal de Color*, (d) *Expansión del Canal de Color*, (e) *Referencia Fija*, (f) *Corrección Gamma*.

Tabla 1. Valores finales de cada uno de los métodos para la corrección de color.

	Brillo		Contraste	
	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
Original Canal Verde	0,5232	0,0760	0,1931	0,0154
Expansión Contracción Ref.	0,5231	0,0462	0,1951	0,0235
Fija	0,5588	0,0849	0,2057	0,0162
Correction Gamma	0,4300	0,0572	0,1600	0,0211
	0,5039	0,0002	0,1909	0,0367
	0,5041	0,0005	0,2046	0,0160

4. RESULTADOS PARA LA CORRECCIÓN DE COLOR

Para seleccionar el método con mejor desempeño se evaluaron dos propiedades de las imágenes, el contraste y el brillo; estos valores se pueden observar en la Tabla 1, donde se tiene su promedio y desviación estándar para cada uno de los métodos, como punto de partida los dos métodos que presentaron mejores resultados son el de Referencia Fija y Corrección Gamma, debido a que su valor es el más cercano a 0.504 que corresponde al promedio de brillo deseado, además presentan una desviación estándar menor frente a los demás métodos.

Para seleccionar el método que se va a trabajar en el resto del paper se estudiaron las tendencias de las propiedades brillo y contraste observadas en la Fig. 3 y Fig. 4, de donde se puede apreciar que en la Fig. 3 que el método de Corrección Gamma presenta menor variación en el contraste; esto indica que la imagen resultante será suavizada en un factor menor que con el método de Referencia Fija (no se satura). Para la Fig. 4 se observa que el método de referencia fija coloca un número mayor de imágenes en el punto de intensidad deseado que es de $I_{ref} = 0,504$, pero este método no tienen en cuenta el hecho que al obligar a la imagen a quedar en este valor puede llegar a saturar algún canal como se observa en la imagen Fig. 2(e), lo que no ocurre con el método de Corrección Gamma, puesto que este método tiene en cuenta cada canal de forma independiente para hallar el mejor valor de γ , por estos motivos se selecciona el método de Corrección Gamma para realizar la corrección de color.

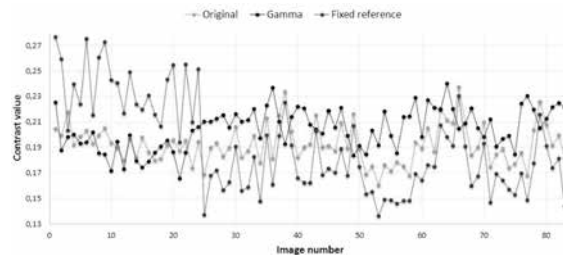


Figura 3. Comparación del contraste para los métodos Referencia Fija y Corrección Gamma.

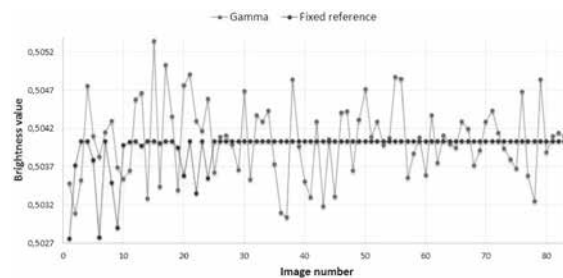


Figura 4. Comparación del brillo para los métodos Referencia Fija y Corrección Gamma con Referencia Fija.

5. SEGMENTACIÓN DE LA PIEL

Después de realizar la corrección de color mediante el método gamma se realiza el proceso de segmentación, para dicho propósito se probaron cuatro algoritmos distintos, los cuales se describen a continuación con sus respectivos resultados.

Algorithm 1. Algoritmo para encontrar valor correcto de γ

- a) Calcular el valor de referencia.
- b) Calcular el promedio de la intensidad para uno de los canales de color (R,G,B).

c) Se hace la comparación entre el promedio del canal y la intensidad de referencia. Si es mayor al promedio del canal se asigna $\gamma_{min} = 1$ y $\gamma_{max} = 3$ que se halla de forma experimental. De ser menor se asigna $\gamma_{min} = 0, 1$ y $\gamma_{max} = 1$.

d) Se realiza la iteración con pasos de 0.1 entre el γ_{min} y $\gamma_{max} = 1$, para encontrar el valor de γ que dé la mínima diferencia entre el promedio del nuevo canal y la intensidad deseada.

e) Al obtener este primer valor de γ se repite el paso c), pero teniendo en cuenta que si es mayor se asigna $\gamma_{min} = \gamma_{obtenido}$ y $\gamma_{max} = \gamma_{obtenido} + 1$. en caso de ser menor se asignará $\gamma_{min} = \gamma_{obtenido} - 1$ y $\gamma_{max} = \gamma_{obtenido}$.

f) Repetir el paso d), pero con iteraciones de 0.01 para darle una décima de resolución.

g) Luego de haber encontrado el valor del γ se aplica al canal que se esté calculando y se repite el proceso para los canales de color faltantes.

A. Color de Piel en RGB

En este caso se realiza una segmentación de color de piel en el espacio de color RGB como se describe en [11], se basa en la intensidad de la imagen partiendo del hecho que el tono de la piel de las personas es similar. El algoritmo plantea tres reglas básicas, que son son:

1. $R(i) < \alpha$.
2. $\beta_1 < (R(i) - G(i)) < \beta_2$.
3. $\gamma_1 < (R(i) - B(i)) < \gamma_2$.

Donde $\alpha = R$, β_1 es el mínimo valor de $(R - G) \cdot 0,75$, β_2 es el máximo valor de $(R - G) \cdot 1,25$, γ_1 es el mínimo valor de $(R - B) \cdot 0,75$ y γ_2 es el máximo valor de $(R - B) \cdot 1,25$. Si los píxeles de la imagen de entrada satisfacen las 3 reglas anteriores, se dice que los píxeles son considerados como color de piel y se dejan dentro de una nueva imagen binarizada, donde 1 representa piel y 0 lo que no es piel. Los valores son obtenidos de 670 muestras de píxeles de piel de la base de datos en imágenes bajo condiciones controladas de iluminación, para este caso son: $\alpha = 0, 7887$,

$\beta_1 = 0, 1867$, $\beta_2 = 0, 4775$, $\gamma_1 = 0, 1730$ y $\gamma_2 = 0, 4590$.

En la Fig. 6(b) se muestran los resultados para una imagen en condiciones

de iluminación controladas y en la Fig. 6(g) se puede ver los resultados para una imagen en condiciones de iluminación no controlada, los resultados estadísticos se encuentran en Tabla 2.

B. Histograma de Referencia

Se utiliza el plano de color YCbCr [13] para encontrar tonos de piel, el plano de color R se reemplaza por el plano Cr y los planos Y y Cb se igualan a cero, se realiza una transformación al plano HSV, y se verifica el tono de la imagen (canal H). Se realizaron pruebas con distintas imágenes y se encontró un rango en el cual se puede detectar piel, donde sus límites se encuentran entre 0.001 y 0.29. Luego se realiza una ecualización teniendo un modelo de histograma a seguir, como es mostrado en al Fig. 5. Finalmente, se binariza la imagen de acuerdo al rango encontrado y se realiza una discriminación por área, la cual se estableció que áreas menores a 80 píxeles son tomadas como ruido. En la Fig. 6(c) se muestran los resultados para una imagen en condiciones de iluminación controladas, y para una imagen no controlada los resultados se observan en la Fig. 6(h), los resultados estadísticos de este método se puede ver en Tabla 2.

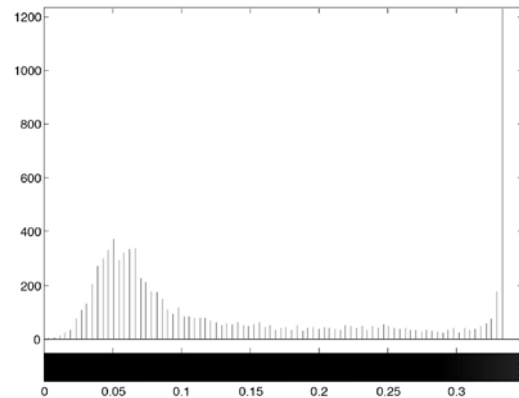


Figura 5: Histograma de referencia con el cual se realizó la ecualización de los histogramas de las imágenes a corregir.

C. Distancia Euclidiana

Se utiliza el plano de color YCbCr [13] para encontrar tonos de piel, el plano de color R se reemplaza por el plano Cr y los planos Y y Cb se igualan a cero, se realiza una transformación al plano RGB, y se verifica el plano R. Durante estas transformaciones se observó que el color de la piel predomina dentro de la imagen, por esta razón, se encuentra la ecuación (8) que es una transformación directa a un nuevo canal en escala de grises, llamado RCrR.

$$\begin{matrix} RC\ rR = [0, 6984 * R - 0, 5848 * \\ G - 0, 1135 * B - 0, 07305] \end{matrix} \quad (8)$$

Después de calcular el nuevo canal se umbraliza con valores superiores a 0, de esta manera se obtienen los posibles objetos de piel dentro de la imagen. Paso siguiente, se divide la imagen a la mitad de forma horizontal tomando la parte superior para encontrar el rostro, el cual se ubica mediante dos discriminadores morfológicos, el primero de ellos es la redondez, que para este caso toma un valor de 0.3 ya que el rostro no es totalmente redondo, dicho valor es obtenido de la ecuación (9), y el segundo es el tamaño del área. Después de haber ubicado el posible rostro se toma un píxel muestra para segmentar mediante el método de distancia euclidiana [16]. El filtro de distancia euclidiana consiste en determinar la distancia de todos los píxeles de la imagen respecto de un píxel o color de referencia dado por la ecuación (10), donde Y_r, Y_g, Y_b son los valores de referencia y X_r, X_g, X_b son los valores del píxel que se está evaluando. Para este caso en específico, se determinó una distancia de 0.1, lo que quiere decir que valores superiores a esa distancia son discriminados y los valores inferiores son tomados como piel.

$$Redondez = (4.\pi.area) = \frac{perimetro^2}{(9)}$$

$$DE = \sqrt{(X_r - Y_r)^2 + (X_g - Y_g)^2 + (X_b - Y_b)^2} \quad (10)$$

En la Fig. 6(d) se muestran los resultados para una imagen en condiciones de iluminación controladas y, para una imagen no controlada, los resultados se observan en la Fig. 6(i), los resultados estadísticos para este método se encuentran en Tabla 2.

D. Distacia de Mahalanobis

Se utiliza el canal RCrR y se ubica el rostro utilizando los discriminadores morfológicos del mismo modo que en el método de distancia euclidiana, seguidamente el algoritmo busca el centro del rostro y se toma la intensidad de sus ocho vecinos para binarizar la imagen por medio de la distancia de mahalanobis, dada por la ecuación (11).

$$DM = \sqrt{(X - Y)^T C^{-1} (X - Y)} \quad (11)$$

Donde DM es la distancia de Mahalanobis [5], X son los valores que se toman del píxel a evaluar, Y es el promedio de los píxeles que se tomaron como referencia, T es la transpuesta de la matriz y C es la matriz de covarianza dada por la ecuación (12).

$$C = \begin{matrix} c_{rR} & c_{rG} & c_{rB} \\ c_{gR} & c_{gG} & c_{gB} \\ c_{bR} & c_{bG} & c_{bB} \end{matrix} \quad (12)$$

Donde r, g, b son las intensidades de los píxeles a evaluar, R, G, B son las intensidades de los píxeles de referencia y $c_{i,j}$ es la covarianza entre las intensidades.

En la Fig. 6(e) se muestran los resultados para una imagen en condiciones de iluminación controladas y para una imagen no controlada los resultados se observan en la Fig. 6(j), los resultados estadísticos para este método se encuentran en Tabla 2.

6. RESULTADOS PARA LA SEGMENTACIÓN DE LA PIEL

Para el desarrollo de este trabajo se analizaron 100 imágenes, las cuales fueron procesadas por el algoritmo corrección gamma y luego por los diferentes algoritmos desarrollados para el color de la piel, 50 de estas imágenes fueron obtenidas bajo condiciones controladas tales como fondo, iluminación, entre otras, y las 50 imágenes restantes son tomadas en diferentes entornos sin control de iluminación. Las imágenes incluyen a personas de forma frontal, con tres cuartos del cuerpo y los brazos abiertos.



Figura 6. Comparación de métodos de segmentación de piel. (a) Imagen original con iluminación controlada, (b) Color de Piel en RGB de una imagen controlada, (c) Histograma de Referencia en imagen controlada, (d) Distancia Euclidiana en imagen controlada, (e) Distancia de Mahalanobis en imagen controlada, (f) imagen original con iluminación no controlada, (g) Color de Piel en RGB de una imagen no controlada, (h) Histograma de Referencia en imagen no controlada, (i) Distancia Euclidiana en imagen no controlada, (j) Distancia de Mahalanobis en imagen no controlada.

En la Fig. 6 se observan los resultados de los 4 algoritmos planteados para la segmentación de piel. La calidad de los algoritmos en la segmentación de piel se evaluó individualmente y por cada una de las imágenes, haciendo una comparación del resultado del algoritmo, con su respectiva imagen segmentada manualmente.

Para evaluar cada algoritmo de segmentación se tomaron 4 medidas que permitieron clasificar los resultados: verdadera aceptación (TP) que es el porcentaje de píxeles que pertenecen a la región y que fueron correctamente identificados, falsa aceptación (FP) es el porcentaje de

píxeles erróneamente identificados como pertenecientes a la región, verdadero rechazo (TN) es el porcentaje de píxeles correctamente rechazados, falso rechazo (FN) es el porcentaje de píxeles erróneamente rechazados. En la Tabla 2 se muestra el valor medio y la desviación estándar de las medidas antes mencionadas para todas las imágenes con cada uno de los algoritmos. Las ecuaciones (13) y (14), corresponden a la especificidad (Sp) y a la sensibilidad (Se).

$$Sp = TN / (TN + FN) \quad (13)$$

$$Se = TP / (TP + FP) \quad (14)$$

Algoritmo		%TP	%FP	%TN	%FN
Color de piel en RGB	Promedio	33,9389	66,0611	99,7653	0,2347
	Desviación estandar		30,1041		0,6783
Histograma de referencia	Promedio	63,9186	36,0814	98,8220	1,1780
	Desviación estandar		32,8843		1,6187
Distancia Euclidiana	Promedio	22,6150	77,3850	99,9729	0,0271
	Desviación estandar		14,8770		0,1421
Distancia Mahalanobis	Promedio	80,8310	19,1690	99,4193	0,5807
	Desviación estandar		8,8251		1,5401

Tabla 2. Resultados estadísticos del rendimiento de los algoritmos.

En la Tabla 3, se presentan los resultados promedio de las 100 imágenes para las medidas de especificidad (Sp) y sensibilidad (Se) de cada uno de los algoritmos planteados en este artículo y se puede observar que los mejores resultados los brinda el algoritmo basado en la Distancia de Mahalanobis, el cual tiene un 99,36 % de sensibilidad, lo cual indica que el algoritmo es capaz de seguir con precisión el contorno de la piel y un 84,31 % de especificidad, lo cual indica que tiene una buena capacidad de garantizar que el borde pertenece o no a la región de interés, adicionalmente este algoritmo cuenta con los menores valores de desviación estándar de TP y FP (8.8251 %), de igual manera para los valores TN y FN (1.5401 %), esto indica que a pesar de que la mitad de las imágenes fueron tomadas bajo condiciones no controladas, el algoritmo se comportó de forma robusta ante la iluminación.

Algoritmo	%(Sp)	%(Se)
Color de piel en RGB	62,24	94,22
Histograma de Referencia	77,07	88,12
Distancia Euclidiana	56,30	97,84
Distancia Mahalanobis	84,31	99,36

Tabla 3. Valores de sensibilidad y especificidad de los algoritmos planteados.

7. CONCLUSIONES

En este artículo se deduce un nuevo plano de color denominado RCrR, el cual se enfoca en resaltar la piel para realizar su segmentación por medio del método Distancia de Mahalanobis que presentó el mejor resultado, mostrando su robustez a las diferentes iluminaciones presentes en las imágenes, ayudado por la etapa de corrección de color efectuada por el método gamma ya que garantiza no saturar ninguno de los planos R,G,B, por esta razón no existe pérdida en la información de la imagen original. Teniendo en cuenta los resultados para la segmentación de piel, se puede afirmar que es una buena herramienta para encontrar zonas de piel. Este algoritmo puede ser útil para la detección de personas ya que encuentra zonas del cuerpo como la cara, los brazos y las manos, los cuales son relevantes al momento de hacer una detección.

REFERENCIAS

- [1] Hsu, Chin Hao, Zhih Wei Chen y Cheng Chin Chiang: *Region-Based Color Correction of Images*. En *Information Technology and Applications, 2005. ICITA 2005. Third International Conference on*, volumen 1, pp. 710–715 vol.2, July 2005.
- [2] Kyung, Wang Jun, Dae Chul Kim, Kyung Man Kim y Yeong Ho Ha: *Color correction for faded image using classification in LCybCrg color space*. En *Consumer Electronics Berlin (ICCE-*

- Berlin), 2011 IEEE International Conference on, páginas 189–193, Sept 2011.
- [3] Kwok, N. M., D. Wang, X. Jia, S.Y. Chen, G. Fang y Q.P. Ha: *Gray world based color correction and intensity preservation for image enhancement*. En *Image and Signal Processing (CISP), 2011 4th International Congress on*, volumen 2, páginas 994–998, Oct 2011.
- [4] Jose M. Chaves-González, Miguel A. Vega-Rodríguez, Juan A. Gómez Pulido Juan M. Sánchez Pérez: *Detecting skin in face recognition systems: A colour spaces study*. En *Digital Signal Processing*, volumen 20, páginas 806–823, May 2010.
- [5] Kumar, C.N.R. y A Bindu: *An Efficient Skin Illumination Compensation Model for Efficient Face Detection*. En *IEEE Industrial Electronics, IECON 2006 32nd Annual Conference on*, páginas 3444–3449, Nov 2006.
- [6] Sagheer, A y S. Aly: *An Effective Face Detection Algorithm Based on Skin Color Information*. En *Signal Image Technology and Internet Based Systems (SITIS), 2012 Eighth International Conference on*, páginas 90–96, Nov 2012.
- [7] Adrian Ford, Alan Roberts: *Colour Space Conversions*. <http://www.poynton.com/PDFs/colourreq.pdf>, cited July 2014.
- [8] Colantoni, Philippe y Al: *Color Space Transformations*. <http://colantoni.nerim.net/download/colorspacettransform-1.0.pdf>, cited July 2014.
- [9] Phung, Son Lam, A Bouzerdoum y D. Chai: *A novel skin color model in YCbCr color space and its application to human face detection*. En *Image Processing. 2002. Proceedings. 2002 International Conference on*, volumen 1, páginas I–289–I–292 vol.1, 2002.
- [10] Nguyen, M. T T, C. L D A Mai y N. M. Kwok: *Estimating image illuminant color based on gray world assumption*. En *Image and Signal Processing (CISP), 2011 4th International Congress on*, volumen 2, páginas 989–993, Oct 2011.
- [11] Kyung, Wang Jun, Dae Chul Kim, Ho Gun Ha y Yeong Ho Ha: *Color enhancement for faded images based on multi-scale gray world algorithm*. En *Consumer Electronics (ISCE), 2012 IEEE 16th International Symposium on*, páginas 1–4, June 2012.
- [12] Scott, J. y M. Pusateri: *Towards real-time hardware gamma correction for dynamic contrast enhancement*. En *Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPRW), 2009 IEEE*, páginas 1–5, Oct 2009.
- [13] Alizadeh, M., A Talebpour, H. Soltanian-Zadeh y S.M.R. Aghamiri: *Effects of improved Adaptive Gamma Correction Method on Wireless Capsule Endoscopy images: Illumination compensation and edge detection*. En *Electrical Engineering (ICEE), 2012 20th Iranian Conference on*, páginas 1544–1548, May 2012.
- [14] Lin, Chiunhsium: *Face detection by color and multilayer feedforward neural network*. En *Information Acquisition, 2005 IEEE International Conference on*, páginas 6 pp.–, June 2005.
- [15] Wang, Liwei, Yan Zhang y Jufu Feng: *On the Euclidean distance of images*. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 27(8):1334–1339, Aug 2005.
- [16] Ji, Huijie, Meihua Xu y Feng Ran: *Auto classification of skin symptom based on Mahalanobis distance*. En *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 2010 3rd International Conference on*, volumen 6, páginas V6–299–V6–302, Aug 2010.