VI CAPÍTULO

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Introducción

En este capítulo se presentan los resultados de las pruebas llevadas a cabo. Se realiza una comparación entre los distintos algoritmos de segmentación, incluyendo las modificaciones y ampliaciones introducidas, probándolos con fotografías de cada grado de quemadura.

Se hará una discusión de los resultados obtenidos aplicando las modificaciones, estudiando si son mejores con o sin dichas modificaciones.

6.2. Material utilizado

Se dispone de 62 fotografías digitales tomadas en la Unidad de Quemados del Hospital Universitario Virgen del Rocío por parte del personal sanitario. Son las fotografías con las que se trabajó en la tesis doctoral [Acha, 2002]. La adquisición de la imagen sigue el protocolo que se definió en [Acha, 2002]. Dicho protocolo es muy sencillo, lo cual implica una ventaja clara para que cualquier miembro de la Unidad pueda tomar la fotografía, aunque conlleva una desventaja: cuanto más fácil sea tomar las imágenes, más variabilidad existirá en ellas, lo que aumenta la dificultad de la resolución del problema. La mayoría de las fotografías están diagnosticadas en el momento de ingreso en la Unidad, y validadas una semana más tarde, tal y como es el procedimiento normal de la Unidad.

La mayor parte del estudio se hace sobre seis fotografías, las mismas que se utilizaron en [Acha, 2002], no obstante el resto de fotografías también serán utilizadas en este estudio para generar el banco de datos que se tiene para hallar la semilla. Existen cincuenta recortes de cada una de las cinco categorías indicadas en el capítulo anterior.

Las seis fotografías que se estudian más al detalle son

- Foto1: 2º grado superficial
- Foto2: 2º grado superficial
- Foto3: 2º grado profundo
- Foto4: 2º grado profundo
- Foto5: 3º grado marrón
- Foto6: 3º grado blanco

El material utilizado para la toma de fotografías fue una cámara fotográfica digital Canon Power Shot 600.

El computador con el que se realizaron los algoritmos es un Athlon-XP-M a 2400 MHz, con 40 GB de disco duro y 512 MB de memoria RAM.

6.3. Segmentación, ampliaciones realizadas

En lo que sigue se realizará una comparación entre los algoritmos implementados. Como se ha comentado con anterioridad es difícil, por no decir imposible, establecer un criterio cuantitativo y objetivo de las prestaciones de un algoritmo de segmentación frente a otro, así que se presentarán las imágenes, tal y como es práctica común en estos casos, y se seleccionará el mejor método según el criterio de los especialistas.

En todos los algoritmos se ha tratado de ajustar el menor número de parámetros, por tanto, siempre que los resultados fuesen buenos, se intentó mantener constantes a la mayoría de ellos para todas las fotografías. Los que se consiguieron se resumen en la tabla VI-1.

Parámentro	Valor
Desviación típica de la gaussiana para la transformación de la saturación	0.01
Desviación típica de la gaussiana para la transformación de la luminosidad	0.01
Número de filtrados de difusión	10
Ancho de distribución de Von Mises	20
Tamaño del soporte para la textura	5x5
Tamaño del filtro de mediana	3x3

Tabla VI-1 Valores de los parámetros fijos para los algoritmos de segmentación

Al resto de parámetros de los distintos algoritmos no se les puede asociar valores constantes, porque si no los resultados no serían correctos, o al menos, no “tan correctos”.

6.3.1. Alteración del orden de la difusión en el algoritmo de Distancias

El algoritmo de Distancias "original", sobre el que se basa esta ampliación, convierte la imagen *RGB* en una imagen de distancias. Para ello, primero transforma las coordenadas de color al sistema *L*u*v**, realiza la difusión en *L*u*v** y en este espacio calcula distancias Euclídeas a las coordenadas *L*u*v** de un recorte de la fotografía especificado por el usuario del programa. Al final se obtiene una imagen en escala de grises, donde cada píxel representa la distancia a las coordenadas del recorte. Debido a que se ha escogido el sistema *L*u*v**, las distancias coinciden con las diferencias de los colores percibidas por el sistema visual humano.

Como ya se comentó en el *apartado 4.8.3.*, se ha optado por utilizar, a la hora de calcular las distancias, la formulación que incluye la información de luminosidad. Esto es debido a que se obtienen mejores resultados con dicha información. Sin luminosidad, en el caso de tener colores muy oscuros (por ejemplo sombras) el tono no está definido y la saturación es casi cero, por ello es conveniente utilizar la información de luminosidad. En trabajos anteriores [Acha, 2002] se ha comprobado que de esta forma los resultados son mejores.

La modificación consiste en calcular primero la imagen de distancias y a continuación realizar la difusión sobre la imagen de distancias. Para calcular las distancias se utiliza la *Ecuación VI-1*

$$f(n,m)=\sqrt{\left(L^*(n,m)-L_c^*\right)^2+\left(u^*(n,m)-u_c^*\right)^2+\left(v^*(n,m)-v_c^*\right)^2} \quad \textbf{Ecuación VI-1}$$

Se obtiene una imagen de un solo plano, una imagen en escala de grises que es la que se difunde.

Los parámetros ajustables son el *umbral para la imagen de distancia* y el *número de iteraciones para la difusión*. Estos parámetros serán solicitados por el programa y deberán ser introducidos por teclado.

Los valores asignados a este umbral se resumen en la *Tabla VI-2*. Hay que tener en cuenta que ahora, a diferencia del algoritmo de Von Mises, lo que se quiere segmentar es lo más negro de la imagen, y no lo más claro, de ahí que el rango en el que varía el umbral sea más cercano al 0 que al 1. Lo mismo sucederá con el Algoritmo de Textura.

Fotografía	Nº de iteraciones para la difusión	Umbral ($L^*u^*v^*$)	Umbral ($L^*u^*v^*$) en el algoritmo inicial
Foto1	20	0.2	0.3
Foto2	10	0.15	0.15
Foto3	20	0.175	0.15
Foto4	10	0.2	0.2
Foto5	20	0.25	0.2
Foto6	10	0.15	0.1

Tabla VI-2 Valores de los parámetros variables para el algoritmo de Distancias

La segunda columna indica el número de iteraciones para la difusión que se realizarán. Anteriormente este parámetro estaba a fijado a 10 porque se comprobó que con dicho valor se obtenían buenos resultados. Sin embargo, al alterar el orden en que se hace la difusión, según se hagan más o menos iteraciones en la difusión se obtienen mejores o peores resultados, por ello se ha hecho el parámetro variable, para poder ajustarlo en cada caso. La última columna en la tabla indica el umbral $L^*u^*v^*$ en el algoritmo de Distancias, pero sin efectuar esta alteración del orden a la hora de calcular la imagen de distancias y realizar la difusión. Se observa que en algunos casos es necesario modificar el umbral que antes obtenía los mejores resultados para

que ahora estos sigan siendo satisfactorios.

El esquema seguido en el algoritmo de Distancias “original” y en el modificado se observan en la ilustración VI-1.

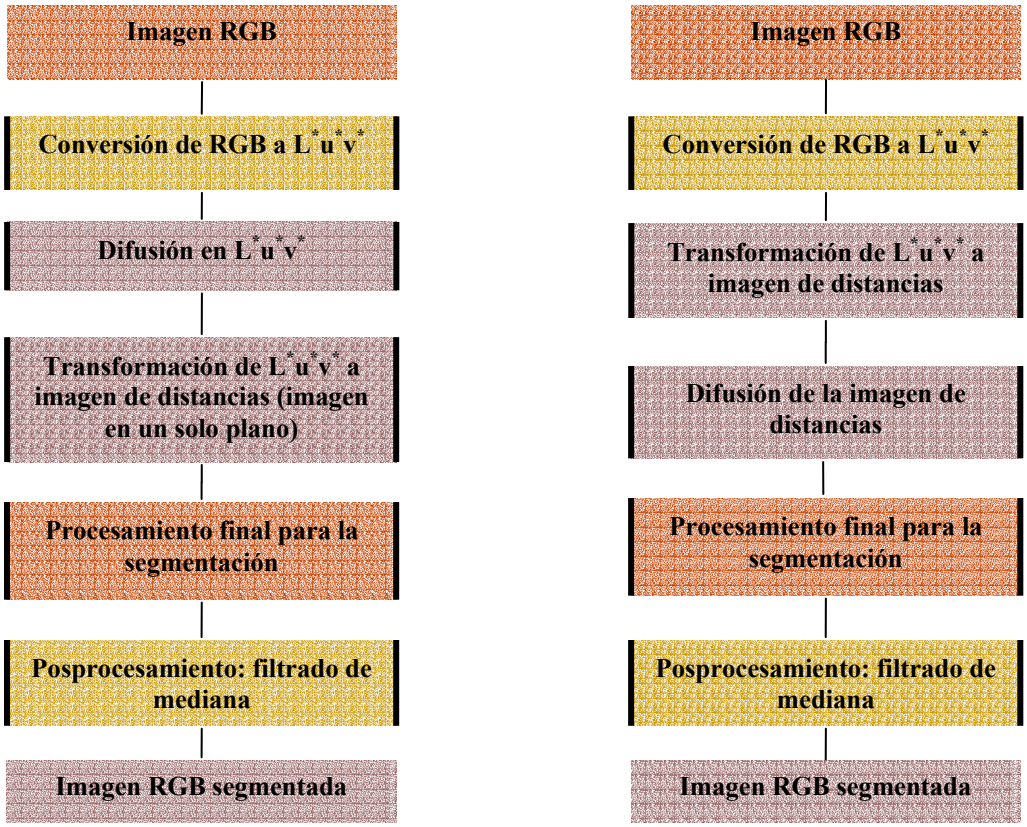

Ilustración VI-1 De izquierda a derecha. Esquema seguido por el algoritmo de Distancias “original” y esquema seguido por el algoritmo de Distancias, obteniendo en primer lugar la imagen de distancias y sobre ella realizar la difusión.

2º grado superficial

Las imágenes segmentadas por este método se muestran en la *Figura VI-1* y *Figura VI-2*.

- Foto1:

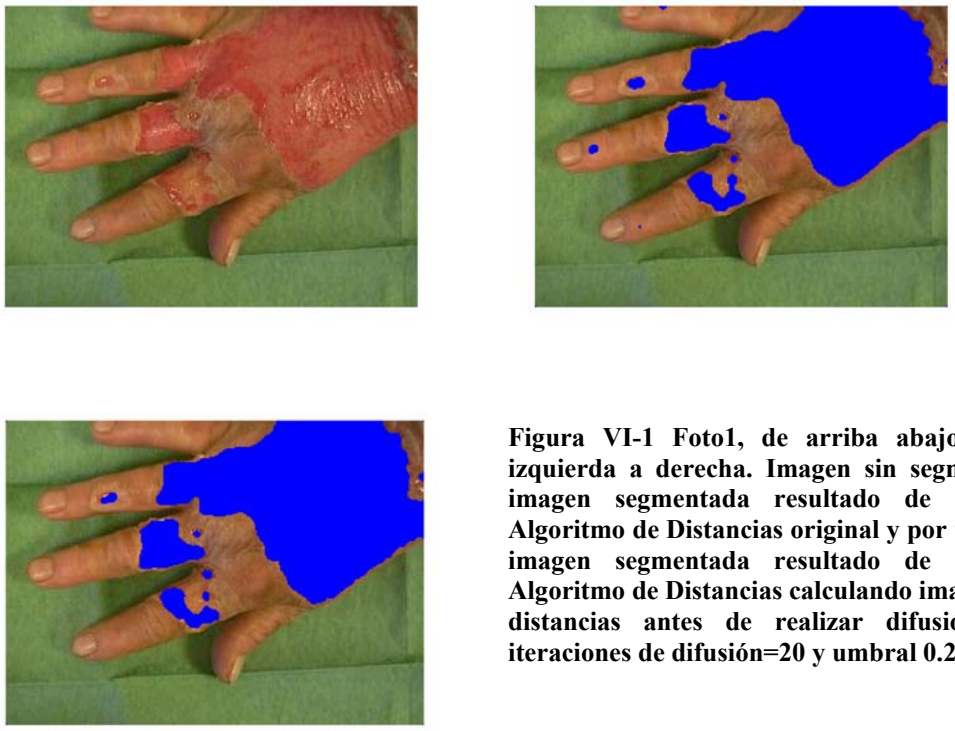

Figura VI-1 Foto1, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias original y por último, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias calculando imagen de distancias antes de realizar difusión. Nº iteraciones de difusión=20 y umbral 0.2

- Foto 2:

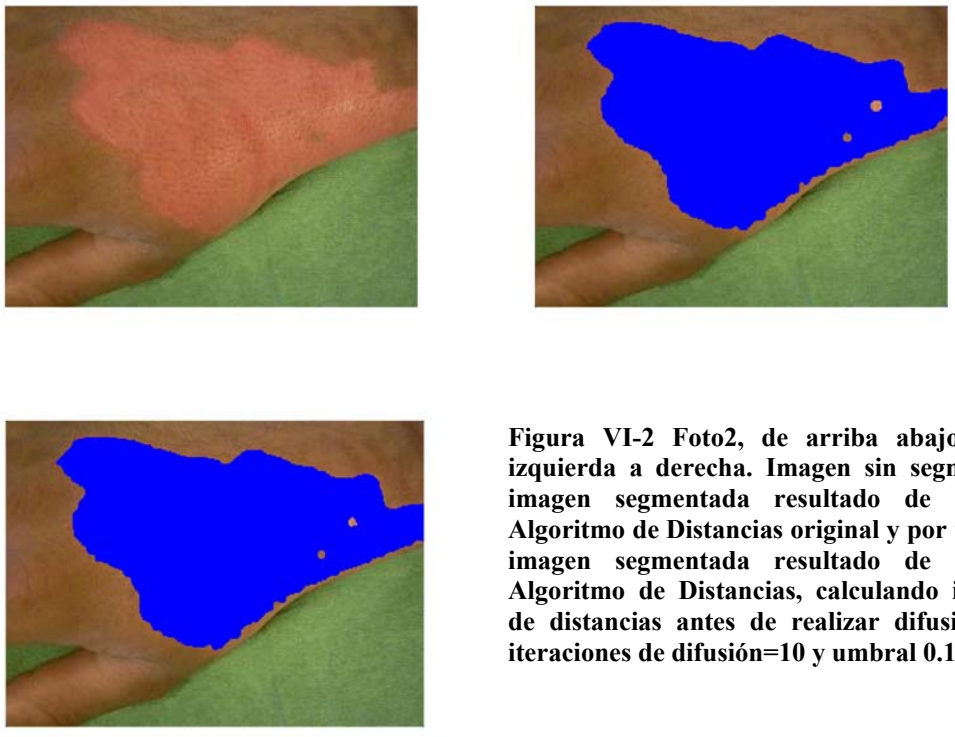

Figura VI-2 Foto2, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias original y por último, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias, calculando imagen de distancias antes de realizar difusión. Nº iteraciones de difusión=10 y umbral 0.15

2º grado profundo

Las imágenes segmentadas se muestran en las *figuras VI-3* y *VI-4.*

- Foto3:

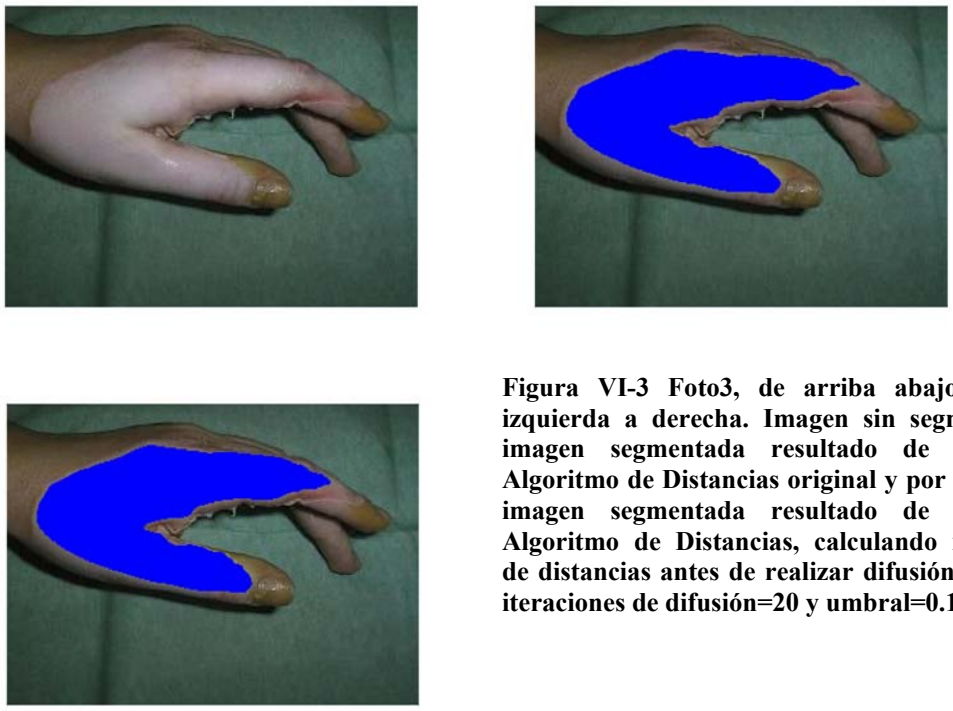

Figura VI-3 Foto3, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias original y por último, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias, calculando imagen de distancias antes de realizar difusión. Nº de iteraciones de difusión=20 y umbral=0.175

- Foto 4:

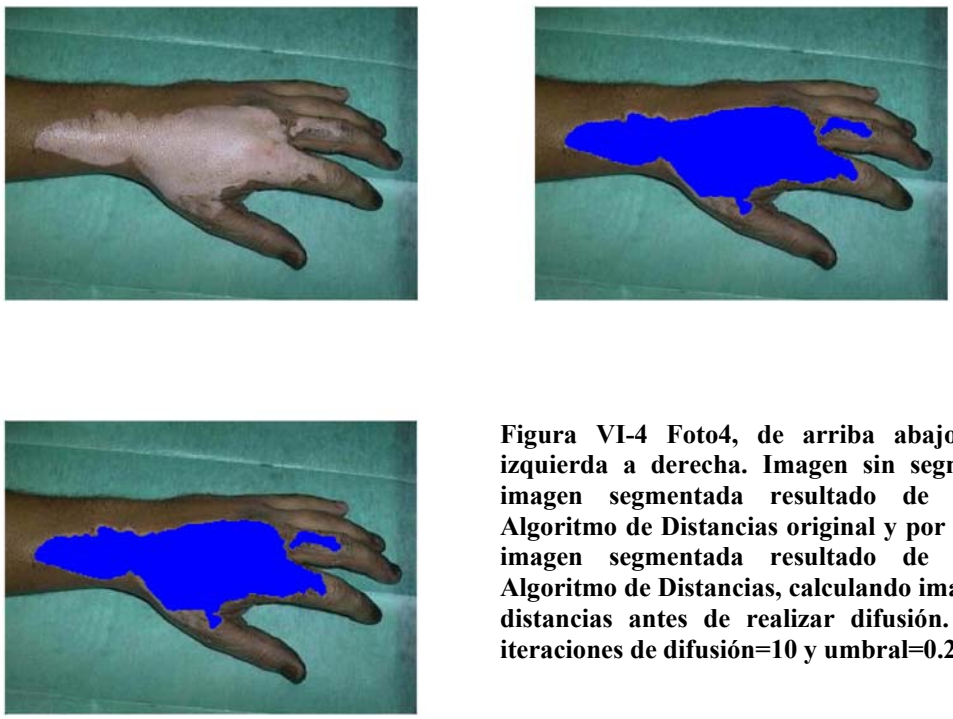

Figura VI-4 Foto4, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias original y por último, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias, calculando imagen de distancias antes de realizar difusión. Nº de iteraciones de difusión=10 y umbral=0.2

3º grado

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-5* y *VI-6*.

- Foto5:

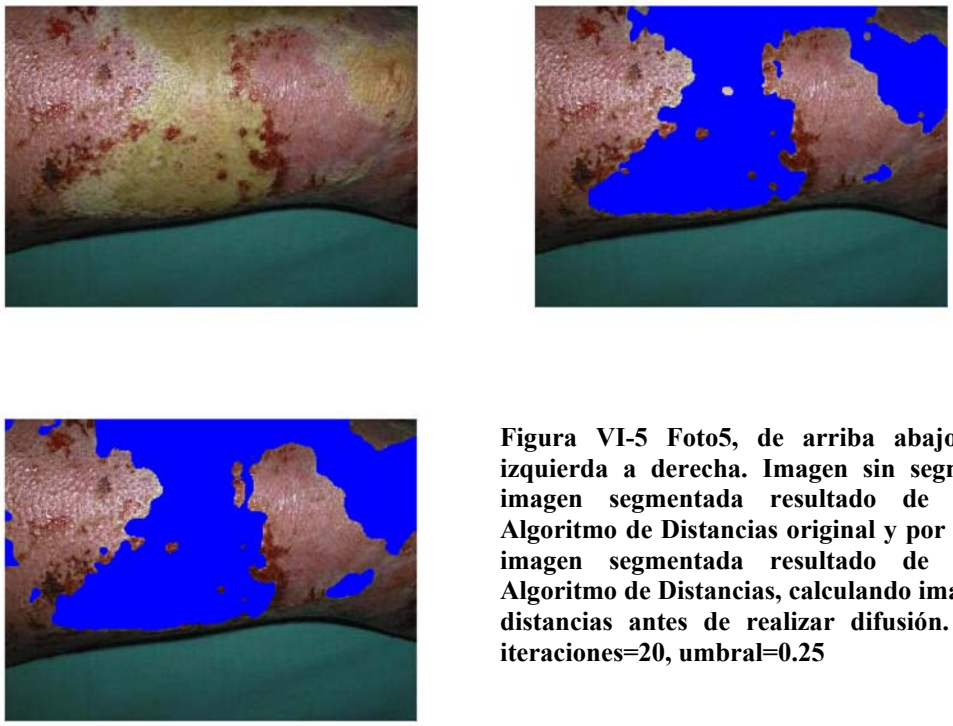

Figura VI-5 Foto5, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias original y por último, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias, calculando imagen de distancias antes de realizar difusión. Nº de iteraciones=20, umbral=0.25

- Foto 6:

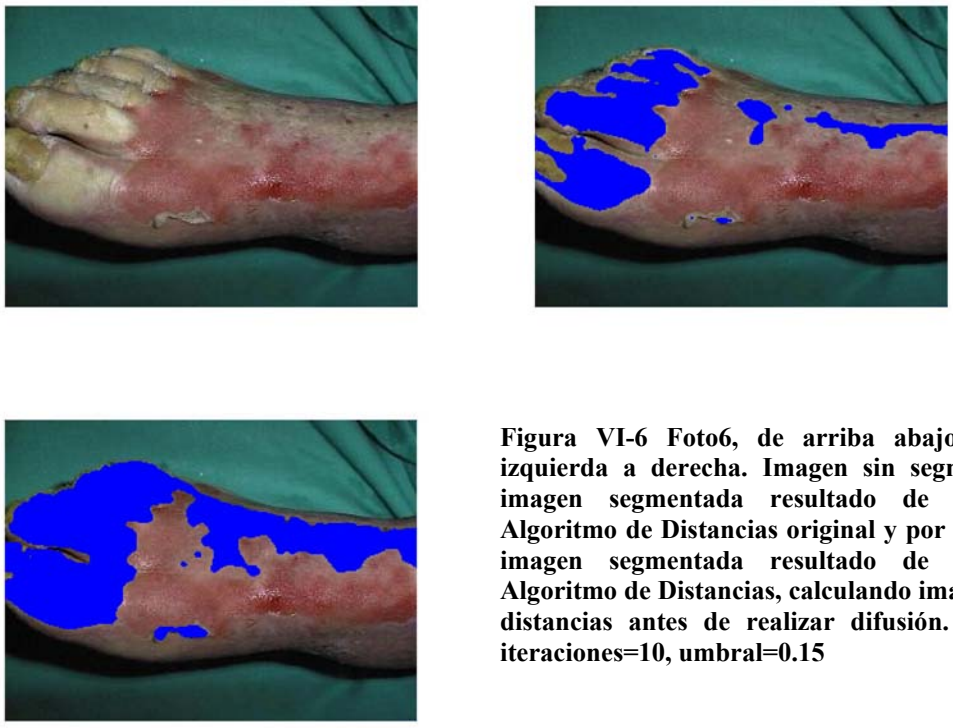

Figura VI-6 Foto6, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias original y por último, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias, calculando imagen de distancias antes de realizar difusión. Nº de iteraciones=10, umbral=0.15

6.3.1.1. Discusión de los resultados obtenidos con el algoritmo de Distancias calculando primero la imagen de distancias y realizando la difusión sobre ella.

Como se puede comprobar observando los resultados, la imagen segmentada obtenida por un método y por otro es prácticamente la misma. Los umbrales utilizados fueron introducidos manualmente, aquellos que ofrecían los mejores resultados son muy similares en un algoritmo o en otro. La única diferencia a resaltar a la hora de comparar resultados sea quizás aquellos obtenidos en las quemaduras de 3º grado. En éstas los resultados son mejores utilizando para la segmentación el algoritmo de Distancias con alteración del orden de difusión, es decir, calcular primero la imagen de distancias y a continuación realizar la difusión sobre la imagen de distancias. En la foto5 y en la foto6 el área de piel segmentada utilizando el algoritmo modificado se aproxima con mayor exactitud a la zona quemada. Se toma mejor la quemadura, en el algoritmo de Distancias "original" se pierden zonas que debían ser segmentadas, sin embargo esto se corrige, de cierta forma, en el algoritmo modificado.

Por tanto, concluyendo, en las fotos de 2º grado superficial y 2º grado profundo los resultados obtenidos con el algoritmo de Distancias modificado, es decir calculando primero la imagen de distancias y tras ello realizando la difusión, son prácticamente idénticos a los obtenidos con el algoritmo de Distancias "original". Sin embargo, para quemaduras de 3er grado son mejores los resultados que proporciona el algoritmo modificado.

6.3.2. Introducción de la información de Luminosidad

El algoritmo de Von Mises realiza una transformación de *RGB* al espacio de color *HSL**, obteniendo una función dependiente del tono y de la saturación, donde el tono se ha transformado con una distribución Von Mises y la saturación con una gaussiana según la ecuación

$$f(n,m) = \beta \frac{H_c}{\exp(W)} \exp\left(W \cdot \cos\left(H(n,m) - H_c\right)\right) + (1-\beta) S_c \exp\left(\frac{-\left(S(n,m) - S_c\right)^2}{2\sigma_c{}^2}\right)$$

Ecuación VI-2

Este algoritmo no tiene en cuenta la información de luminosidad, como ha sido hasta ahora utilizado. En esta modificación se introduce dicha información, quedando la función de transformación de los píxeles como se indica en la siguiente ecuación

$$f(n,m) = \begin{cases} a * \dfrac{H_c}{\exp(W)} \exp\left(W \cdot \cos\left(H(n,m) - H_c\right)\right) + b * S_c \exp\left(\dfrac{-\left(S(n,m) - S_c\right)^2}{2\sigma_c{}^2}\right) + \\ \qquad + c * L_c \exp\left(\dfrac{-\left(L(n,m) - L_c\right)^2}{2\sigma_c{}^2}\right) \end{cases}$$

Ecuación VI-3

- (H_c, S_c, L_c) son los valores de tono, saturación y luminosidad que se quieren segmentar
- (a, b, c) son los parámetros de diseño que ponderan el peso de cada uno de los sumandos en la función de transformación. Toman valores entre 0 y 1. La suma de los tres debe ser igual a 1 ($a+b+c=1$)

Los parámetros ajustables en este caso son los *parámetros de diseño a, b y c* y el *umbral para la imagen en escala de grises*. Como ya se comentó en el capítulo anterior, la desviación típica de la gaussina se ha tomado como un valor fijo e igual a 0.01, habiéndose comprobado que dicho valor es apropiado.

Fotografía	a	B	c	Umbral	Umbral en algoritmo original
Foto1	0.4	0.4	0.2	0.4	0.65
Foto2	0.45	0.45	0.1	0.695	0.8
Foto3	0.4	0.4	0.2	0.5	0.4
Foto4	1/3	1/3	1/3	0.35	0.4
Foto5	1/3	1/3	1/3	0.4	0.4
Foto6	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6

Tabla VI-3 Valores para los parámetro variables en el algoritmo de Von Mises, incluyendo la información de Luminosidad

2º grado superficial

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-7* y *VI-8*.

- Foto 1:

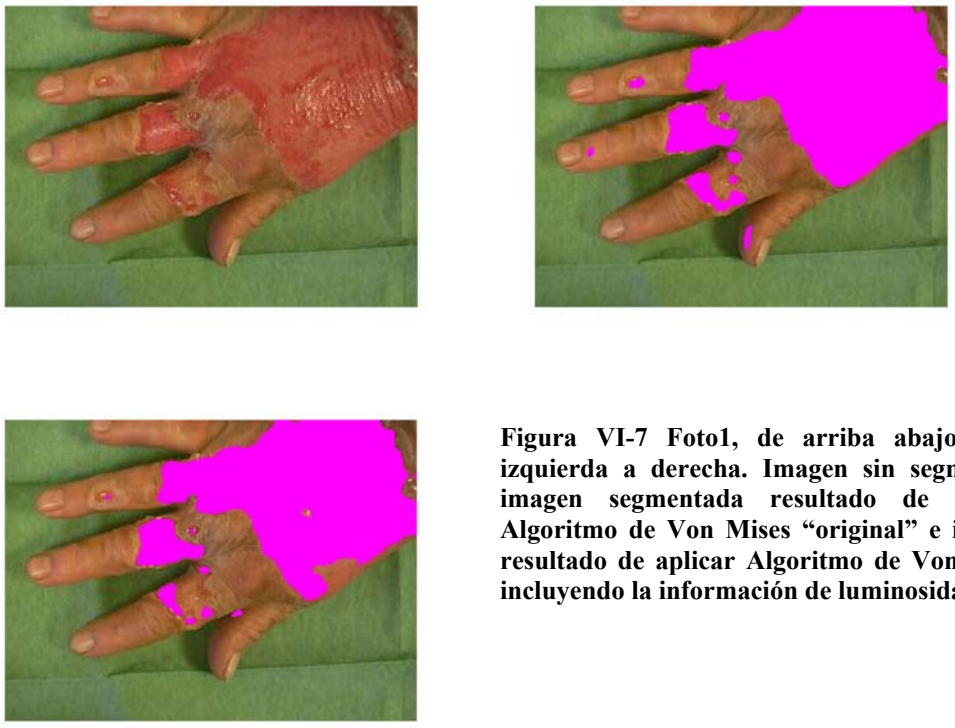

Figura VI-7 Foto1, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises "original" e imagen resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises incluyendo la información de luminosidad

- Foto 2:

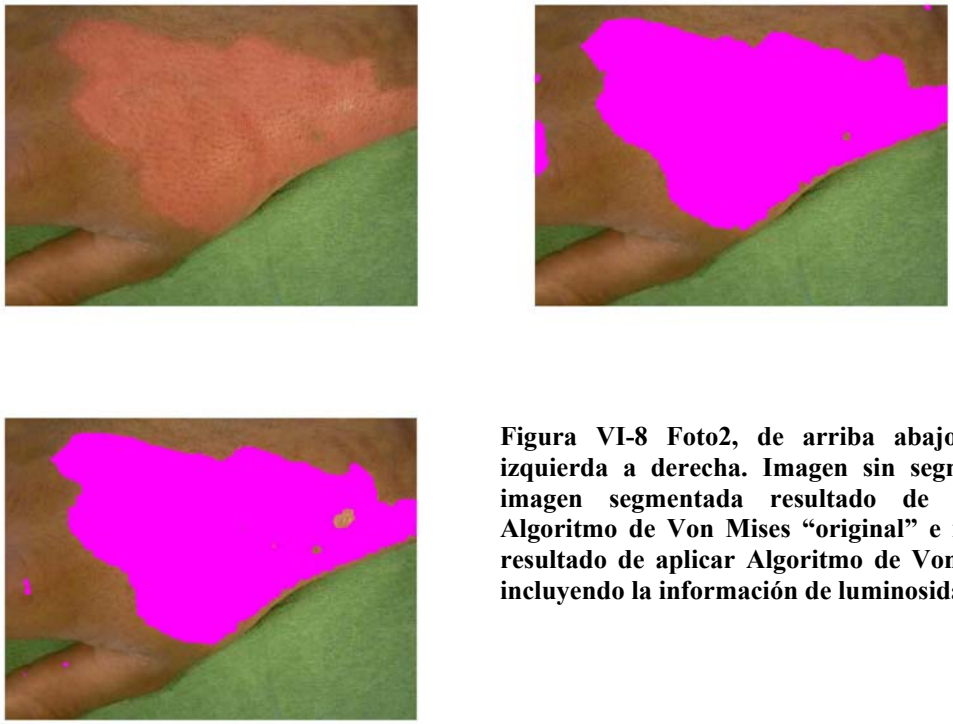

Figura VI-8 Foto2, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises "original" e imagen resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises incluyendo la información de luminosidad

2º grado profundo

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-9* y *VI-10.*

- Foto 3:

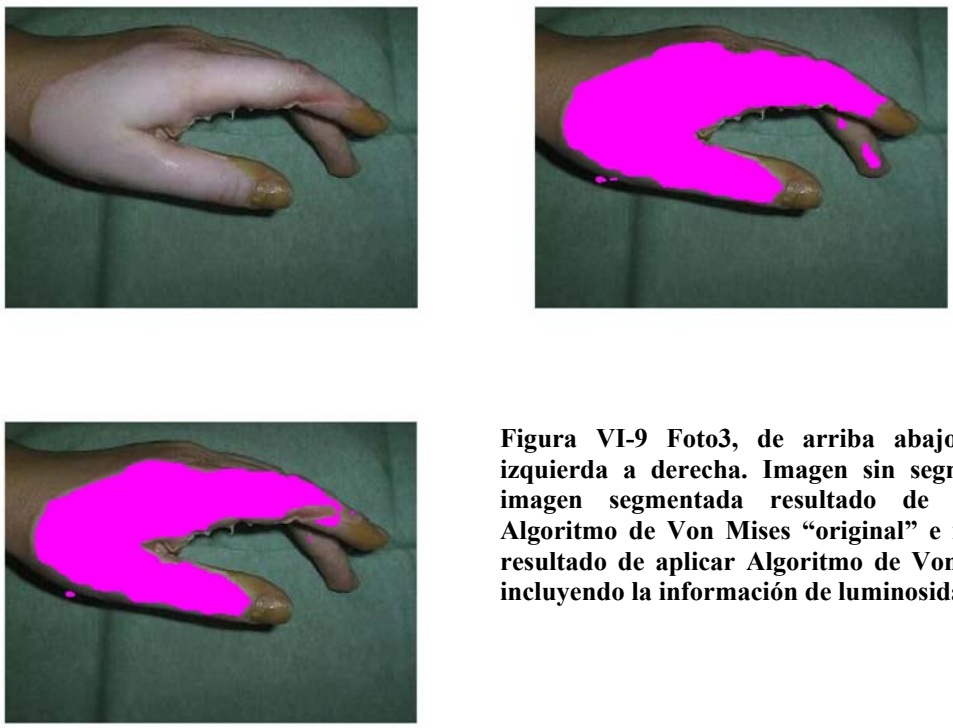

Figura VI-9 Foto3, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises "original" e imagen resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises incluyendo la información de luminosidad

- Foto 4:

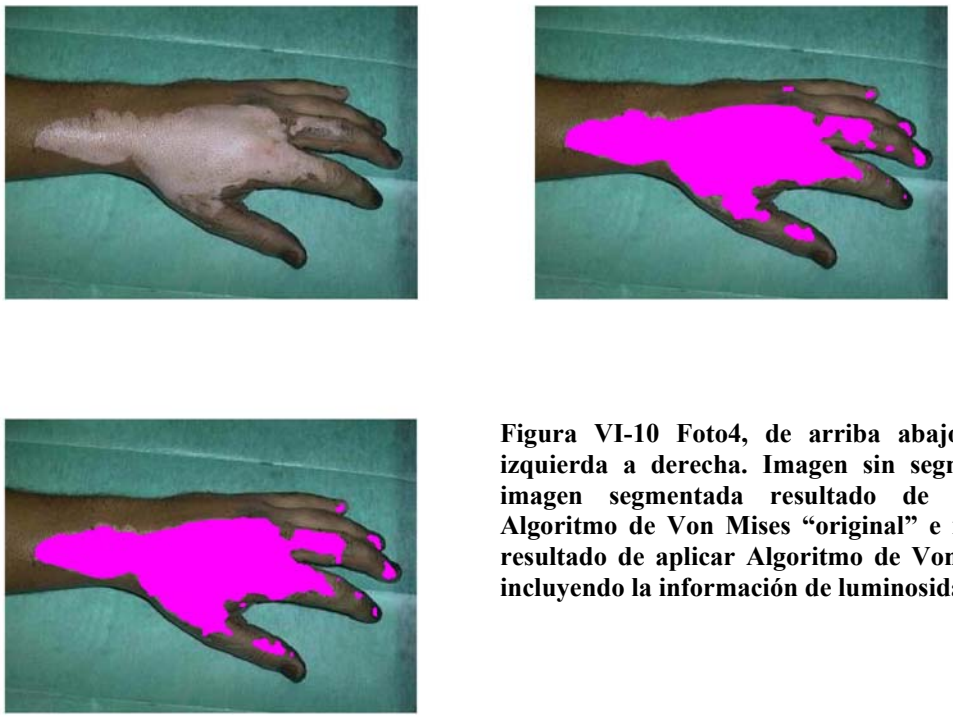

Figura VI-10 Foto4, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises "original" e imagen resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises incluyendo la información de luminosidad

3º grado

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-11 y VI-12*.

- Foto 5:

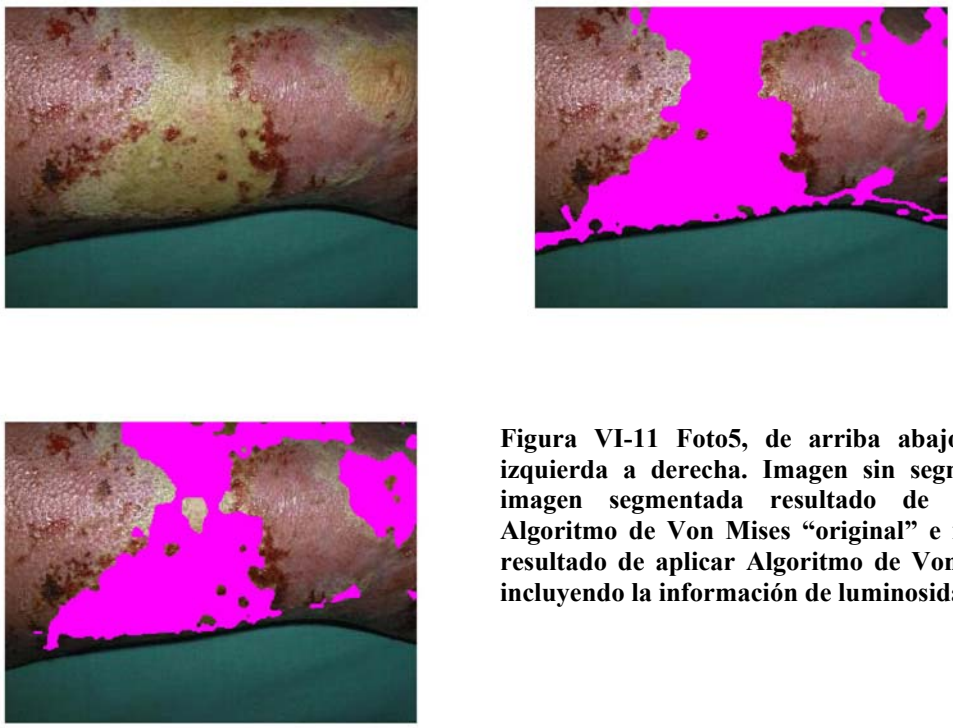

Figura VI-11 Foto5, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises "original" e imagen resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises incluyendo la información de luminosidad

- Foto 6:

Figura VI-12 Foto6, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises "original" e imagen resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises incluyendo la información de luminosidad

6.3.2.1. Discusión de los resultados obtenidos con el algoritmo de Von Mises con introducción de la información de luminosidad.

La introducción de la luminosidad en este algoritmo se hace con objeto de evitar los problemas que se presentan con colores que no sean muy saturados, cuando los colores son blanquecinos. En estos casos el algoritmo de Von Mises "original" segmentaba también los colores muy oscuros (por ejemplo, las sombras), ya que este algoritmo se basa en el tono y la saturación, que para colores cercanos a la gama de los grises pasan a valer casi cero (la saturación) o están indefinidos (el tono).

Para evitar estos problemas se introduce la luminosidad. Sin embargo, los resultados obtenidos no son tan satisfactorios como se pensaba en un principio. Se trataron de ajustar los parámetros *a*, *b* y *c*, así como el umbral para la segmentación de la imagen en escala de grises. Los mejores resultados obtenidos son los mostrados en este estudio. Aunque es cierto que en las quemaduras de 3º grado se obtiene una mejora respecto al algoritmo original, al evitarse la segmentación de ciertas zonas oscuras de la imagen. En 2º grado superficial y 2º grado profundo los resultados son similares a los obtenidos originalmente.

Los umbrales introducidos para cada una de las fotos en el algoritmo con introducción de la luminosidad son muy parecidos a los obtenidos en el algoritmo "original" de Von Mises, siendo en el 85% de los casos menor en el algoritmo con introducción de luminosidad.

Las conclusiones obtenidas tras este estudio son positivas. Aunque los colores oscuros siguen causando problemas en algunos casos, en quemaduras de 3º grado se ajusta mejor la zona segmentada a la zona quemada. En quemaduras de 2º grado superficial y profundo los resultados son similares a los obtenidos con el algoritmo "original". Cierto es que este algoritmo es más difícil de aplicar, al tener más parámetros configurables, siendo ahora *a*, *b* y *c* y el umbral lo que debe ajustarse. Antes sólo era necesario ajustar el umbral.

6.3.3. Alteración de los factores de ponderación en el algoritmo de Von Mises

En este caso, lo que se pretende es modificar el factor de ponderación en la función de transformación del Algoritmo de Von Mises. Inicialmente, la función de transformación era tal y como se indica en la *Ecuación VI-4*

$$f(n,m) = \beta \frac{H_c}{\exp(W)} \exp(W \cdot \cos(H(n,m) - H_c)) + (1-\beta) S_c \exp\left(\frac{-(S(n,m) - S_c)^2}{2\sigma_c^2} \right)$$

Ecuación VI-4

Pero ahora se define el parámetro de diseño β con un valor determinado e igual a la raíz cuadrada de la media de la saturación. De esta forma la función de transformación será en este caso

$$f(n,m) = sqrt(\overline{S_c}) \frac{H_c}{\exp(W)} \exp(W \cdot \cos(H(n,m) - H_c)) + (1 - sqrt(\overline{S_c})) S_c \exp\left(\frac{-(S(n,m) - S_c)^2}{2\sigma_c^2} \right)$$

Ecuación VI-5

- $sqrt(\overline{S_c})$ representa la raíz cuadrada de la media de la saturación que se quiere segmentar

La introducción de este factor de ponderación se ve motivada por los problemas encontrados en la segmentación de imágenes cuando los colores son blanquecinos. Para valores cercanos a la gama de los grises la saturación tiende a cero y el tono a estar indefinido.

El parámetro ajustable en este caso es sólo el *umbral para la imagen en escala de grises*. Se indican los valores del mismo en la *Tabla VI-4*

Fotografía	Umbral	Umbral del algoritmo de Von Mises original
Foto1	0.5	0.65
Foto2	0.8	0.8
Foto3	0.5	0.4
Foto4	0.4	0.4
Foto5	0.5	0.4
Foto6	0.65	0.6

Tabla VI-4 Tabla con los valores del parámetro ajustable en el caso de la modificación de los parámetros de diseño en el Algoritmo de Von Mises

2º grado superficial

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-13* y *VI-14*.

- Foto 1:

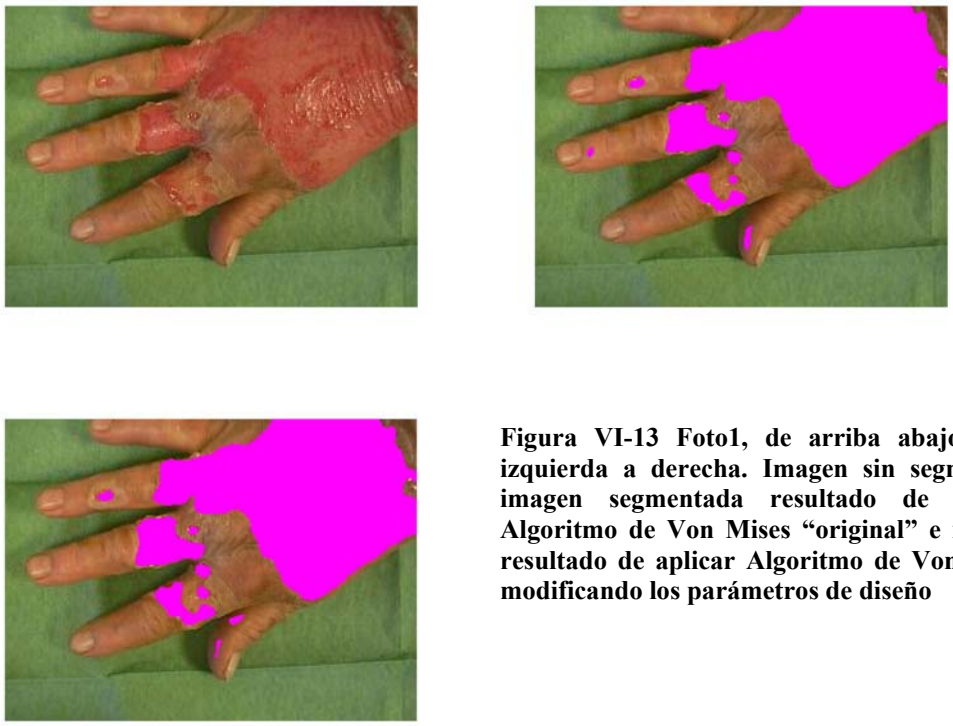

Figura VI-13 Foto1, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises "original" e imagen resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises modificando los parámetros de diseño

- Foto 2:

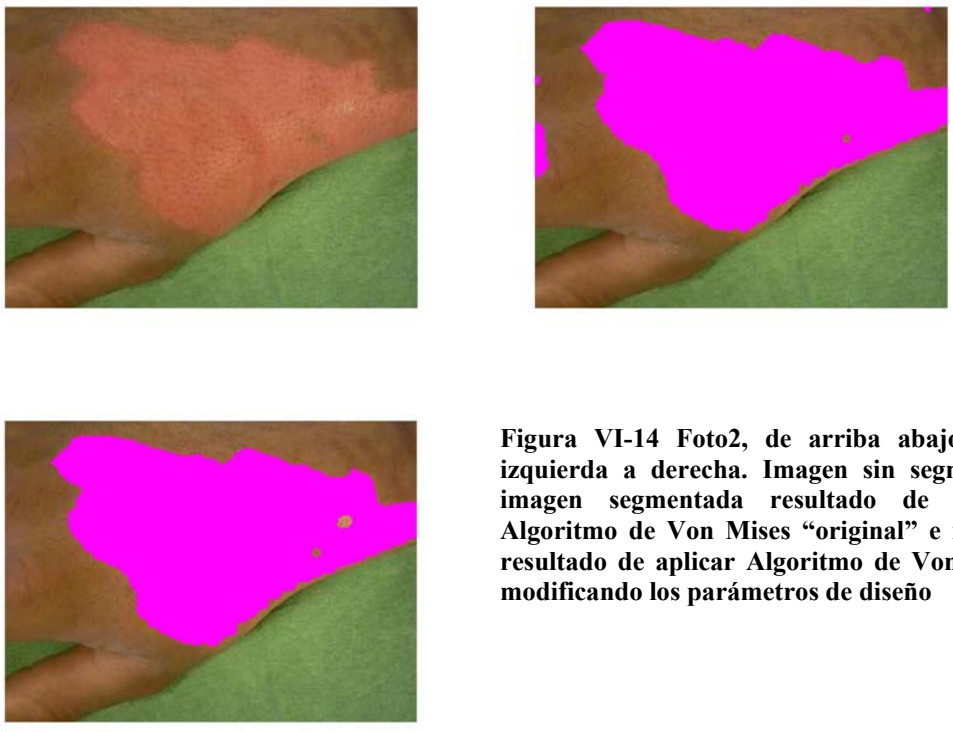

Figura VI-14 Foto2, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises "original" e imagen resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises modificando los parámetros de diseño

2º grado profundo

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-15* y *VI-16*.

- Foto 3:

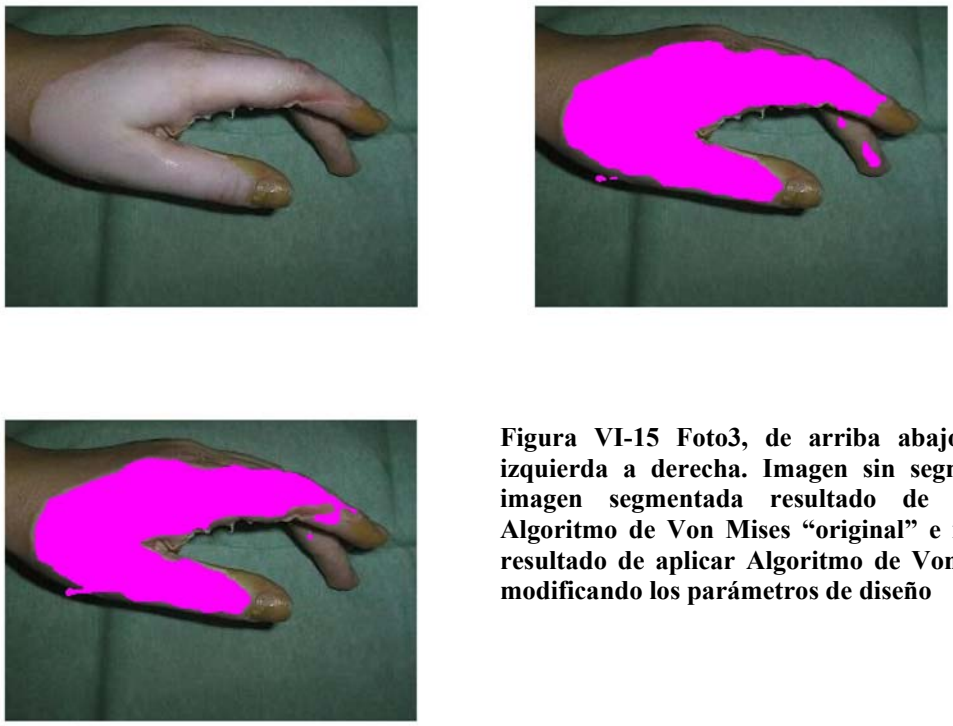

Figura VI-15 Foto3, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises "original" e imagen resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises modificando los parámetros de diseño

- Foto 4:

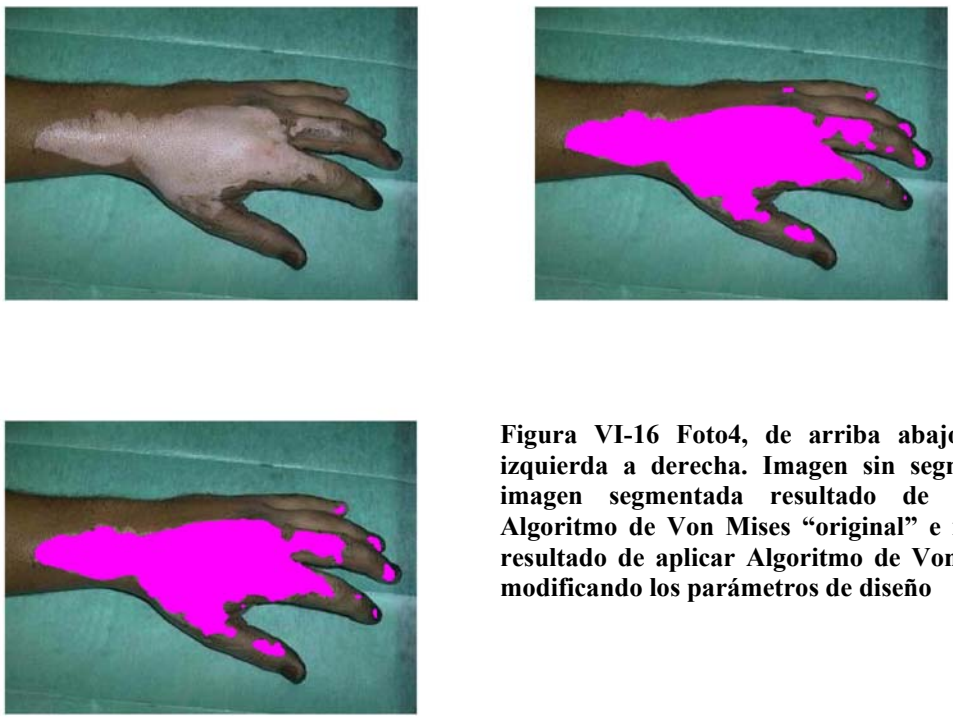

Figura VI-16 Foto4, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises "original" e imagen resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises modificando los parámetros de diseño

3º grado

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-17* y *VI-18*.

- Foto 5:

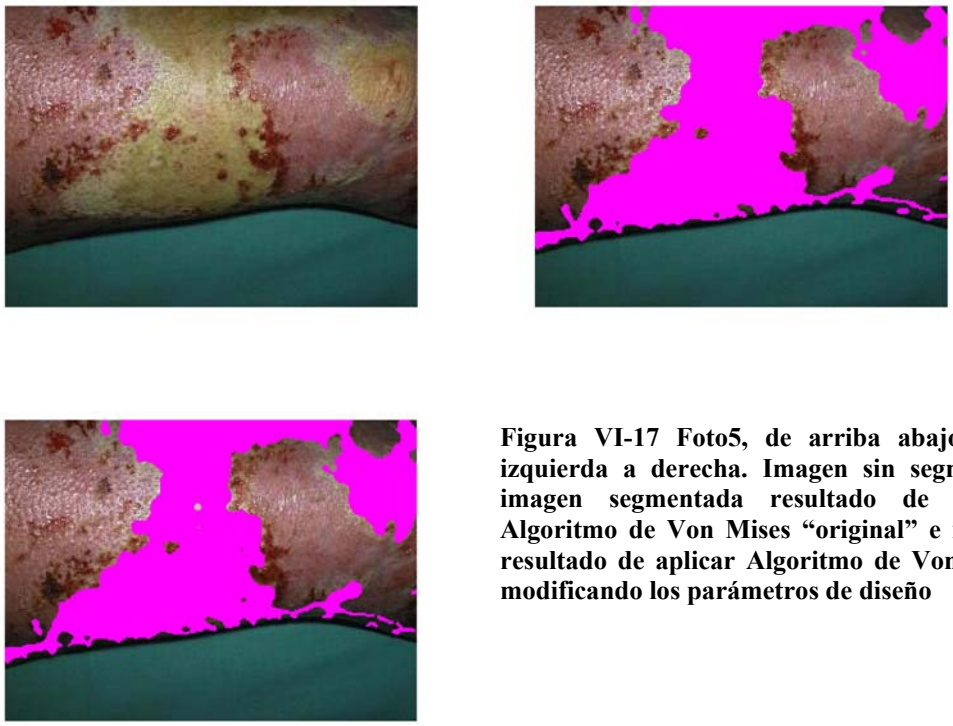

Figura VI-17 Foto5, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises "original" e imagen resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises modificando los parámetros de diseño

- Foto 6:

Figura VI-18 Foto6, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises "original" e imagen resultado de aplicar Algoritmo de Von Mises modificando los parámetros de diseño

6.3.3.1. Discusión de los resultados obtenidos con el algoritmo de Von Mises alterando los factores de ponderación.

Los mejores resultados se obtienen con valores de umbrales muy parecidos a los utilizados en el algoritmo de Von Mises "original". En cada una de los fotografías las zonas que segmenta cada uno de los algoritmos son muy similares. Aunque en ciertas fotografías se observan algunos cambios.

En las fotografías de 2º grado superficial (foto1 y foto2), sobretodo en la foto2, se observa que esta modificación del algoritmo de Von Mises mejora la segmentación. La zona segmentada se aproxima más a la parte quemada y no se reconocen como quemaduras partes que pertenecen a la piel sana.

En las fotografías de 2º grado profundo (foto3 y foto4) se observa una mejora aún más significativa utilizando este algoritmo que con el algoritmo de Von Mises "original". En la foto3 se aprecia cómo la modificación introducida aporta mejores resultados en la segmentación. Partes que antes eran segmentadas sin ser zona quemada, ahora no se produce ese error. En la foto4 también se mejora la segmentación.

En las fotografías de 3º grado (foto5 y foto6) no se aprecia mejora significativa respecto al algoritmo original. Esto puede deberse a que la información de luminosidad no la consideramos en este algoritmo y existen casos en que el tono y la saturación no están definidos, casos en los que se debería acudir a la luminosidad para poder diferenciar entre piel quemada y piel sana.

Por tanto, en algunos casos los resultados utilizando el algoritmo de Von Mises con alteración de los factores de ponderación con respecto al algoritmo de Von Mises "original" son muy similares, sin embargo en otros son mejores. Con lo que concluimos, en general la modificación introducida mejora la segmentación de ciertas imágenes y no empeora otras.

6.3.4. Aplicación de umbralización automática por el método de Otsu al algoritmo de Distancias

El método de umbralización de Otsu es una técnica de umbralización adaptativa para separar dos clases entre sí, y busca la maximización de la distancia entre las dos clases y la minimización de las áreas que forman la unión de los puntos asociados a cada clase. Puesto que se tiene una imagen de distancias, lo que se quiere aislar es lo más oscuro de dicha imagen. Es decir, lo que esté más a la izquierda en el histograma (lo más oscuro) es el objeto de la segmentación.

En este caso no hay ningún parámetro ajustable. Lo único que se le precisará al usuario es que realice el recorte sobre la parte que desea segmentar.

2º grado superficial

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-19* y *VI-20*.

- Foto 1:

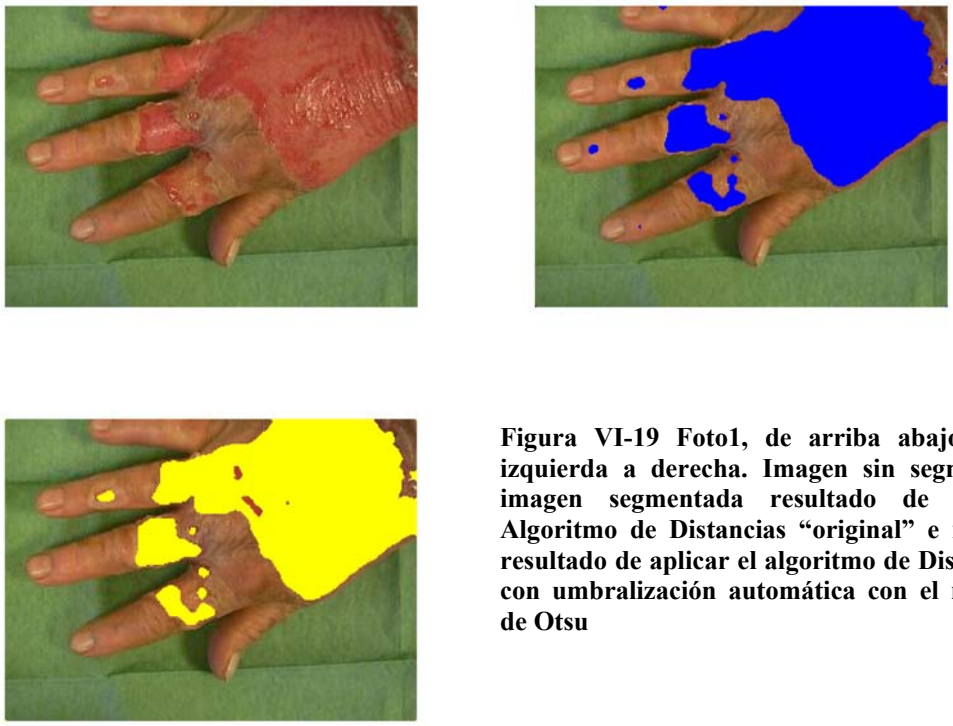

Figura VI-19 Foto1, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias "original" e imagen resultado de aplicar el algoritmo de Distancias con umbralización automática con el método de Otsu

- Foto 2:

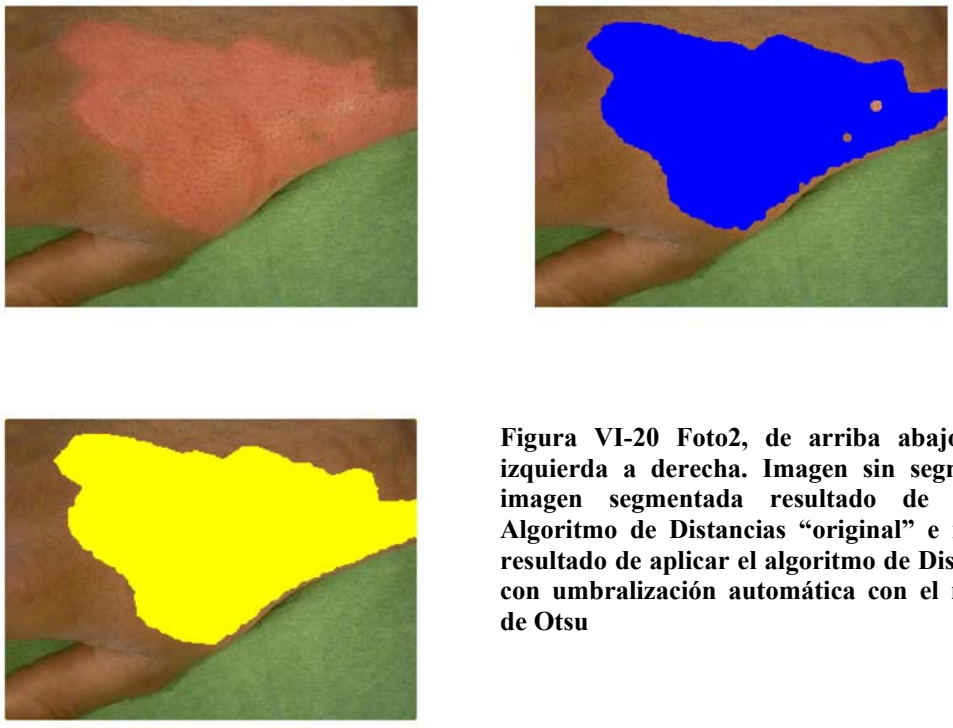

Figura VI-20 Foto2, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias "original" e imagen resultado de aplicar el algoritmo de Distancias con umbralización automática con el método de Otsu

2º grado profundo

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-21* y *VI-22*.

- Foto 3:

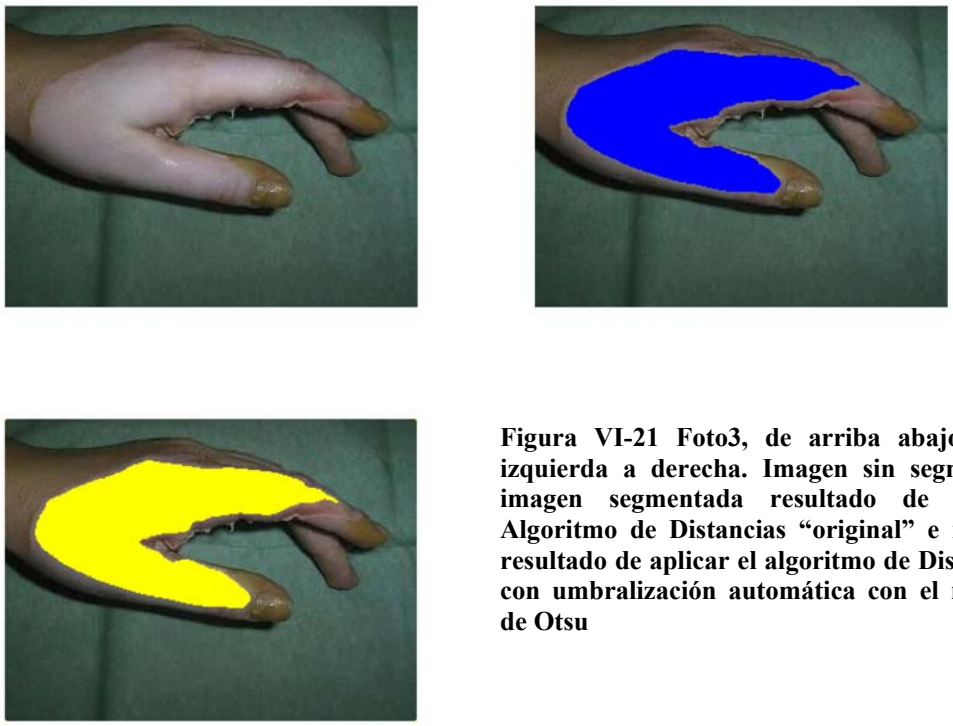

Figura VI-21 Foto3, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias "original" e imagen resultado de aplicar el algoritmo de Distancias con umbralización automática con el método de Otsu

- Foto 4:

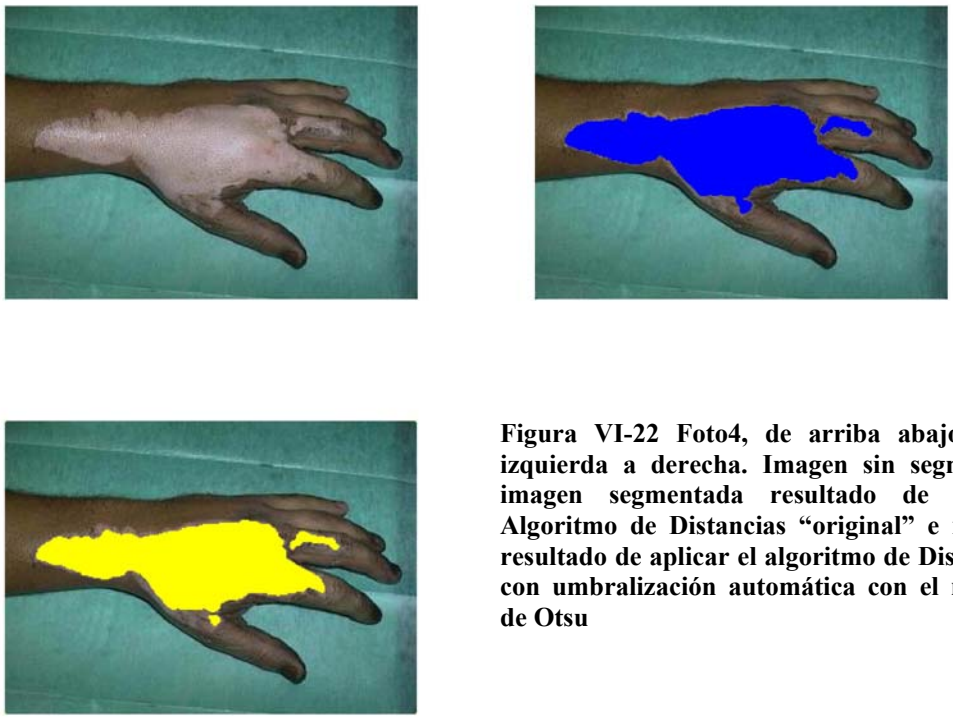

Figura VI-22 Foto4, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias "original" e imagen resultado de aplicar el algoritmo de Distancias con umbralización automática con el método de Otsu

3º grado

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-23* y *VI-24*.

- Foto 5:

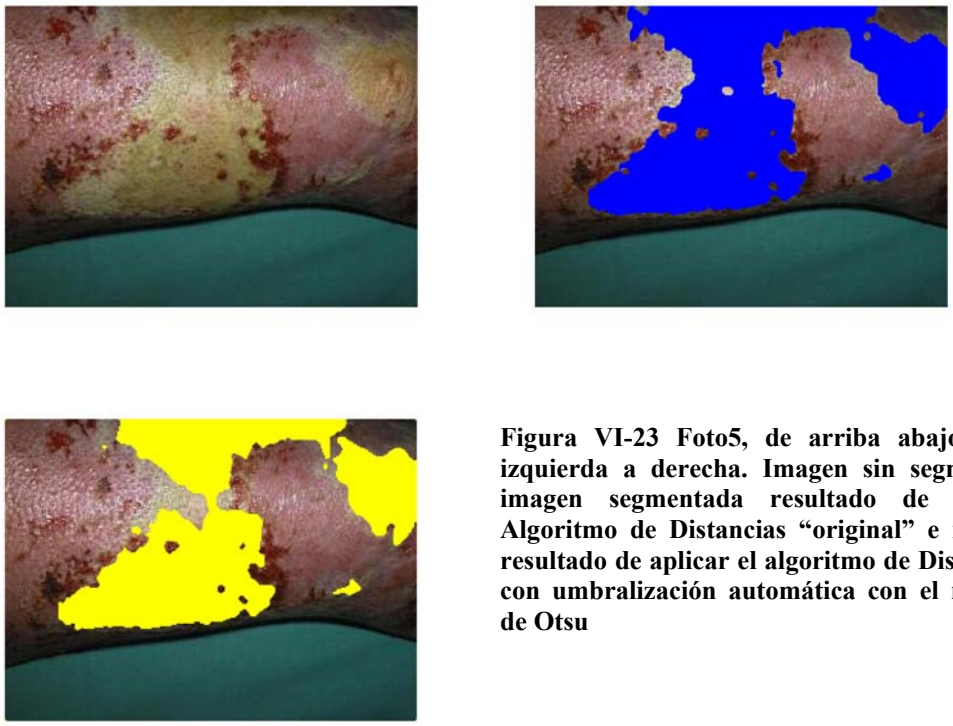

Figura VI-23 Foto5, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias "original" e imagen resultado de aplicar el algoritmo de Distancias con umbralización automática con el método de Otsu

- Foto 6:

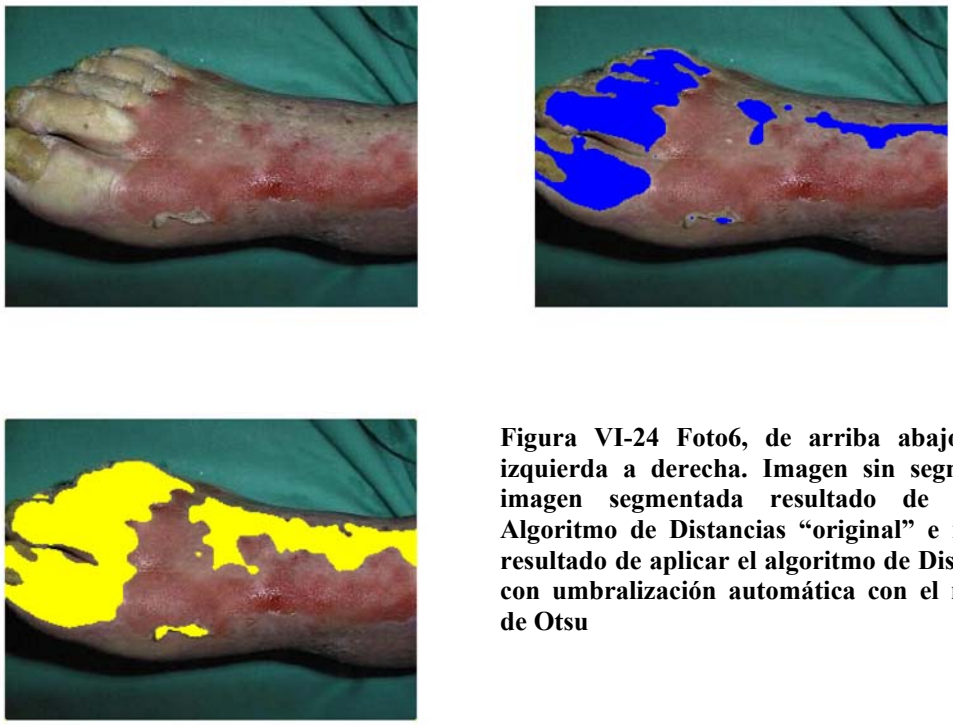

Figura VI-24 Foto6, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Imagen sin segmentar, imagen segmentada resultado de aplicar Algoritmo de Distancias "original" e imagen resultado de aplicar el algoritmo de Distancias con umbralización automática con el método de Otsu

6.3.4.1. Discusión de los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo de Distancias con umbralización automática con el método de Otsu

La introducción de un método que halle el umbral sin que el usuario lo tenga que proporcionar automatiza mucho el proceso, hecho deseable puesto que la idea de este estudio es ayudar al diagnóstico de quemaduras para que éste pueda realizarse por personal no tan cualificado. Por tanto, tener un umbral automático proporciona una herramienta de valor añadido.

Los resultados que se obtienen con el método de Otsu son bastantes satisfactorios. Son similares a los que aporta el algoritmo de Distancias "original". En fotografías de 2º grado superficial y 2º grado profundo son prácticamente idénticos. En fotografías de 3º grado varían un poco respecto al algoritmo de Distancias "original", siendo mejores los resultados obtenidos con umbralización automática.

Por tanto, concluimos que la introducción de la umbralización automática por el método de Otsu en el algoritmo de Distancias nos aporta buenos resultados en quemaduras de todos los grados estudiados (2º grado superficial y profundo y 3º grado).

6.3.5. Umbralización automática por la técnica de búsqueda de picos

La umbralización por el método de búsqueda de picos, es otro método que obtiene el umbral de manera automática.

Este algoritmo fue realizado en un principio para ser aplicado a imágenes que provengan de aplicar la transformación de Von Mises y Gauss, es decir lo más blanco representará lo que se quiere aislar. No obstante, ha sido también transformado para ser aplicado a una imagen distancias, en lo que lo más oscuro corresponderá a lo que se desea segmentar.

Las adaptaciones del algoritmo original de búsqueda de picos para poder aplicarlo a una imagen de distancias implican algunas modificaciones sobre el último paso del algoritmo. Se ha relajado la condición de eliminación de un pico si éste es demasiado pequeño en relación con el pico más grande. De esta manera, se conservarán más picos que los que en un principio conservaba el algoritmo de búsqueda de picos para ser aplicado a imágenes que provengan de aplicar la transformación de Von Mises y Gauss.

Además de esta modificación, se ha observado que para cada imagen se obtenían mejores resultados con uno de los picos del histograma obtenidos con el algoritmo de búsqueda de picos que con otros. Esto, por supuesto, resta automatización el proceso, sin embargo se ha creído conveniente sintonizarlo manualmente en este estudio con objeto de poder obtener cuan de buenos podrían ser los resultados. Siendo cierto que fijándolo, en algunas de las imágenes se obtenían peores resultados que en otras.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con diferentes algoritmos de segmentación a los que se le ha aplicado esta segmentación. Se compararán los resultados con aquellos obtenidos mediante la introducción manual del umbral.

6.3.5.1. Algoritmo de Distancias con umbralización automática por el método de búsqueda de picos

En este caso no debiera existir ningún parámetro configurable, sin embargo, y como se ha comentado en el apartado anterior, se ha escogido manualmente cual de los picos generados por este método debería ser el umbral que segmentara la imagen.

En la Tabla VI-5 se presentan, para cada fotografía, los umbrales utilizados en la umbralización manual y aquellos obtenidos por este método automático.

La notación u( ) indica el orden del valor escogido como umbral dentro del vector de valores generado por el método de búsqueda de picos. Un índice mayor en el vector implica un umbral mayor. Como se ha explicado en el apartado anterior, esto se ha realizado con objeto de poder obtener los mejores resultados.

Fotografía	Umbral Automático	Umbral manual
Foto1	0.2784 = u(3)	0.3
Foto2	0.1490 = u(2)	0.15
Foto3	0.2353 = u(2)	0.15
Foto4	0.2275 = u(3)	0.2
Foto5	0.2157 = u(2)	0.2
Foto6	0.1176 = u(2)	0.1

Tabla VI-5 Umbrales utilizados en la umbralización manual y aquellos obtenidos por este método automático para el algoritmo de Distancias.

En las siguientes figuras, se muestra, a la derecha la imagen segmentada mediante el algoritmo de Distancia con introducción del umbral manualmente y a la izquierda la misma imagen, pero en este caso con umbralización automática por el método del histograma de homogeneidad.

2º grado superficial

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-25* y *Figura VI-26*

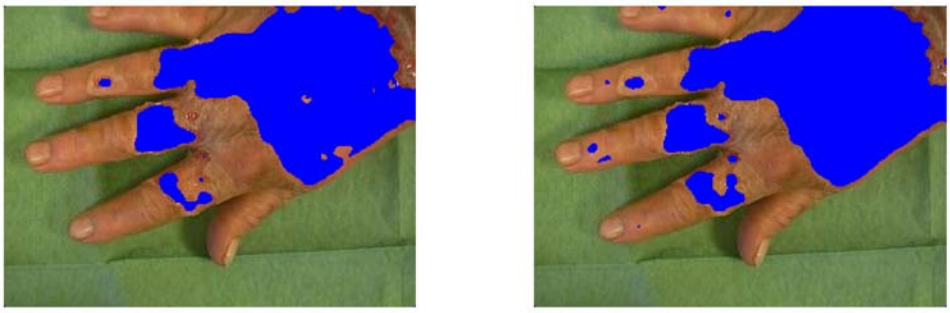

Figura VI-25 Foto1 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha)

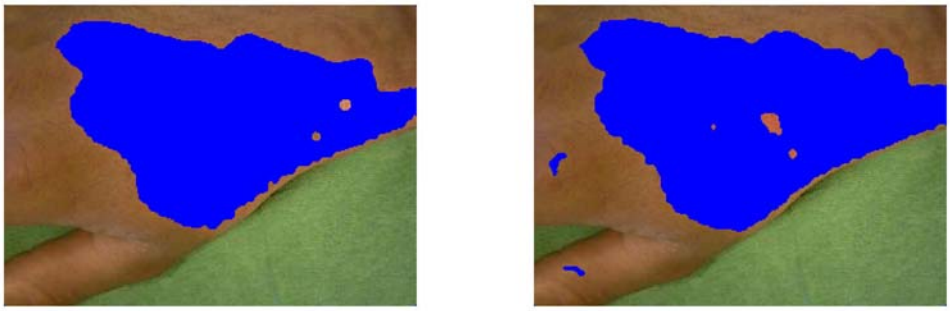

Figura VI-26 Foto2 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha)

2º grado profundo

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-27* y *Figura VI-28.*

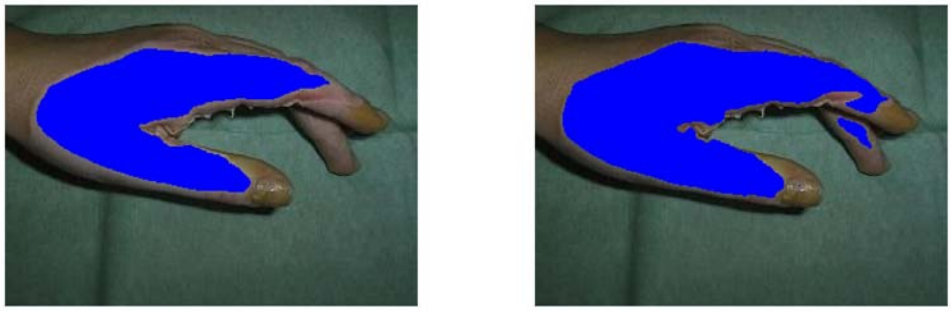

Figura VI-27 Foto3 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha)

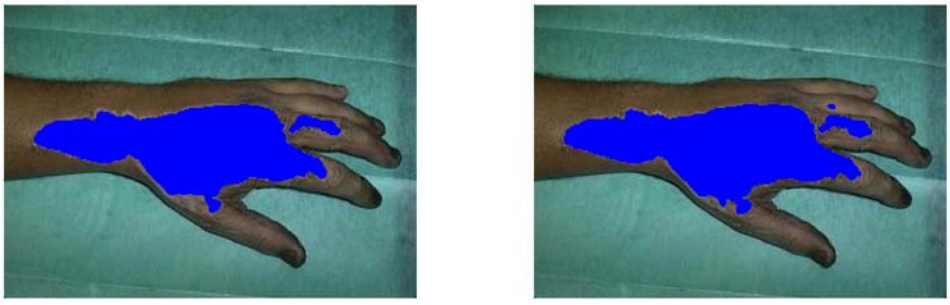

Figura VI-28 Foto4 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha)

3º grado

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-29* y *Figura VI-30.*

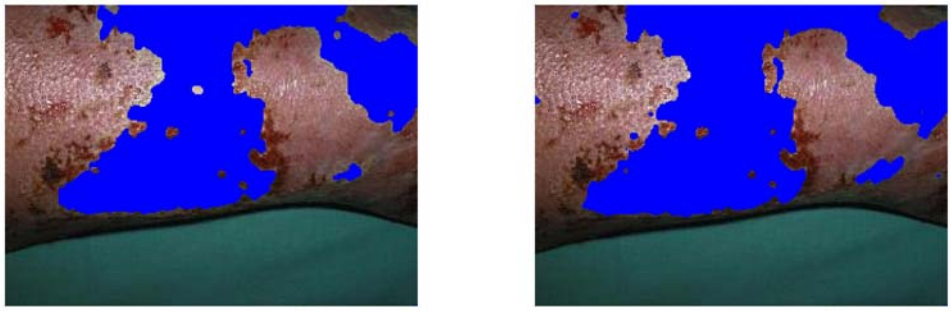

Figura VI-29 Foto5 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha)

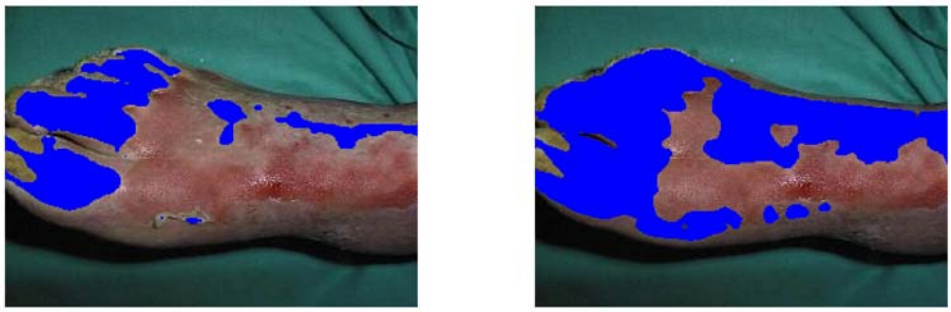

Figura VI-30 Foto6 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha)

6.3.5.1.1. Discusión de los resultados en el algoritmo de Distancias con umbralización automática por el método de búsqueda de picos

En este caso, los resultados aplicando este método de umbralización automática son bastante buenos. Los umbrales que aporta el método automático son muy similares a los que se introdujeron manualmente, por ello las zonas segmentadas son también parecidas. En general, los umbrales que halla el algoritmo automáticamente son algo superiores a los que se eligieron manualmente para obtener los mejores resultados en la segmentación, es por ello por lo que se reconoce como piel quemada, utilizando el umbral automático, una zona de piel mayor, puesto que el umbral que se nos proporciona es mayor. Sin embargo, se observa que predomina el índice 2 sobre el 3 en el vector de los picos que proporciona el método de búsqueda de picos, por lo tanto son los menores valores proporcionados por este método los que en general obtienen mejores resultados en la segmentación de la imagen.

Los resultados son en general buenos. El hecho de tener umbralización automática aporta un considerable valor añadido, que debe ser valorado puesto que minimiza la interacción del usuario con el proceso, acorta el camino hacia la automatización total del proceso.

6.3.5.2. Algoritmo de Von Mises con umbralización automática por el método de búsqueda de picos

En este caso, no existe ningún parámetro configurable.

En la Tabla VI-6 se presentan, para cada fotografía, los umbrales utilizados en la umbralización manual y aquellos obtenidos por este método automático.

Fotografía	Umbral Automático	Umbral manual
Foto1	0.6353	0.65
Foto2	0.7451	0.8
Foto3	0.6157	0.4
Foto4	0.7059	0.4
Foto5	0.5412	0.4
Foto6	0.6353	0.6

Tabla VI-6 Umbrales utilizados en la umbralización manual y aquellos obtenidos por este método automático para el algoritmo de Von Mises.

En las siguientes figuras, se muestra, a la derecha la imagen segmentada mediante el algoritmo de Von Mises con introducción del umbral manualmente y a la izquierda la misma imagen, pero en este caso con umbralización automática por el método de búsqueda de picos en el histograma.

2º grado superficial

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-31* y *Figura VI-32*.

Figura VI-31 Foto1 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Von Mises.

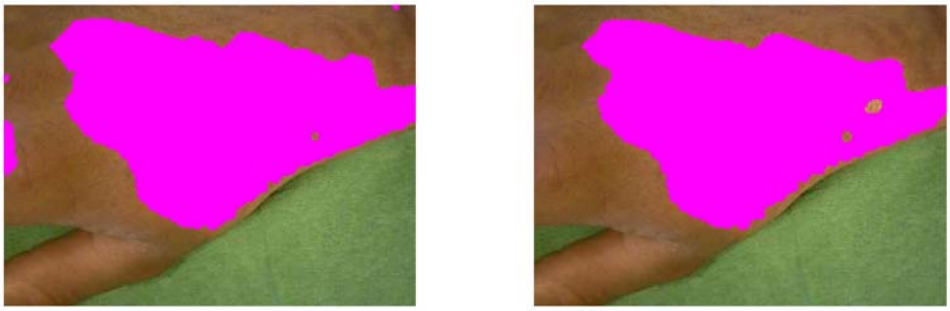

Figura VI-32 Foto2 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Von Mises.

2º grado profundo

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-33* y *Figura VI-34.*

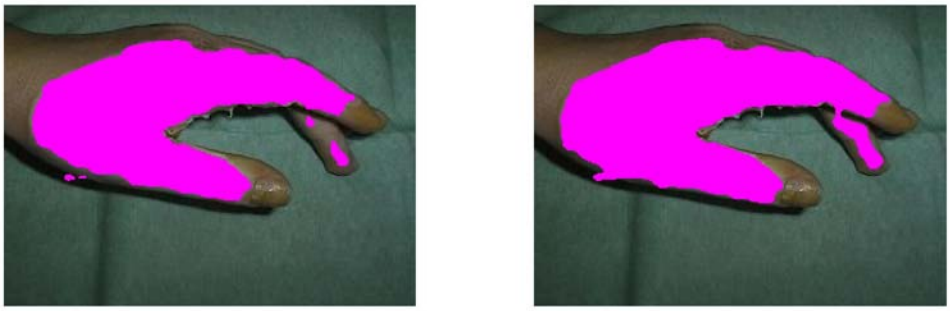

Figura VI-33 Foto3 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Von Mises.

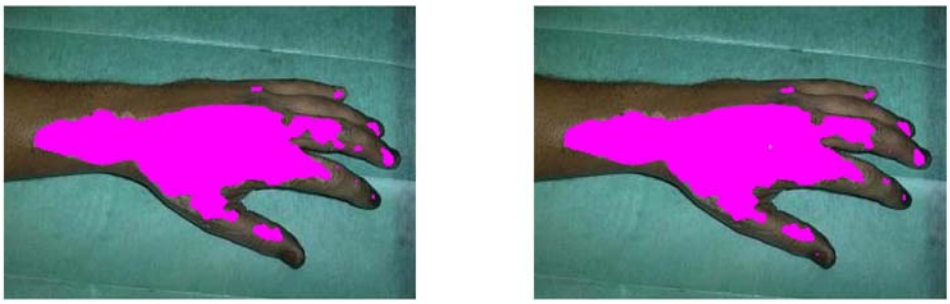

Figura VI-34 Foto4 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Von Mises.

3º grado

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-35* y *Figura VI-36*.

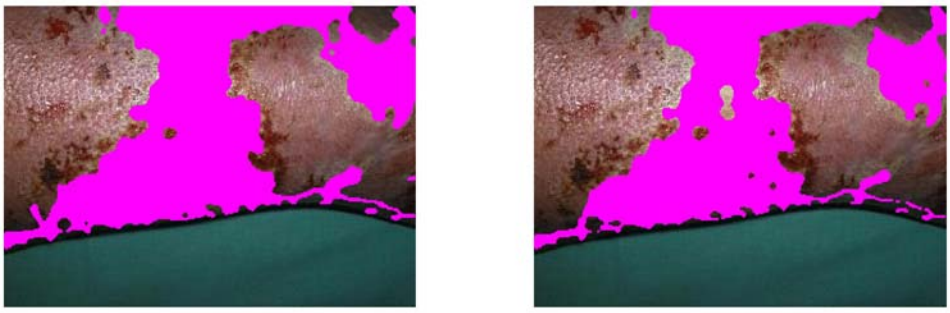

Figura VI-35 Foto5 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Von Mises.

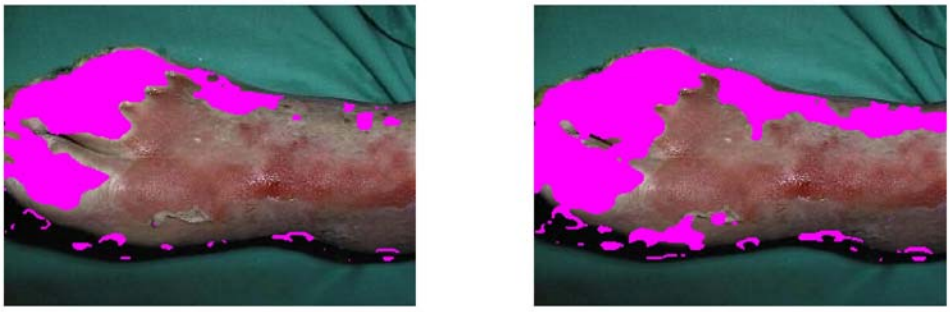

Figura VI-36 Foto6 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Von Mises.

6.3.5.2.1. Discusión de los resultados obtenidos con el algoritmo de Von Mises con umbralización automática por el método de búsqueda de picos

Los resultados aplicando este método de umbralización automática son bastante buenos. Los umbrales que aporta el método automático son muy similares a los que se introdujeron manualmente, por ello las zonas segmentadas son también parecidas. Tan solo en las fotografías de 2º grado profundo se diferencian los valores de umbral. Por ello es que en fotografías de este grado la segmentación no es tan exacta como la que se obtuvo con el umbral introducido manualmente. Sin embargo, en fotografías de 2º grado superficial y 3º grado los resultados que aporta el método automático son muy satisfactorios y con la ventaja añadida de que el umbral es hallado automáticamente, con lo que el usuario sólo deberá hacer el recorte sobre la imagen de la zona que desea segmentar.

6.3.5.3. Algoritmo de Von Mises con introducción de la información de luminosidad y umbralización automática por el método de búsqueda de picos

En este caso, al igual que en el caso anterior, no existe ningún parámetro configurable.

En la Tabla VI-7 se presentan, para cada fotografía, los umbrales utilizados en la umbralización manual y aquellos obtenidos por este método automático. Para el procesamiento de estas imágenes se ha elegido ponderar de la misma forma cada uno de los componentes, es decir *a*, *b* y *c* valdrán 1/3.

Fotografía	Umbral Automático	Umbral manual
Foto1	0.4157	0.4
Foto2	0.4951	0.695
Foto3	0.4392	0.5
Foto4	0.4431	0.35
Foto5	0.4353	0.4
Foto6	0.5765	0.4

Tabla VI-7 Umbrales utilizados en la umbralización manual y aquellos obtenidos por este método automático para el algoritmo de Von Mises con incorporación de la información de luminosidad

En las siguientes figuras, se muestra, a la derecha la imagen segmentada mediante el algoritmo de Von Mises incluyendo la luminosidad, con introducción del umbral manualmente y a la izquierda la misma imagen, pero en este caso con umbralización automática por el método de búsqueda de picos.

2º grado superficial

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-37* y *Figura VI-38*.

Figura VI-37 Foto1 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Von Mises con introducción de la información de Luminosidad.

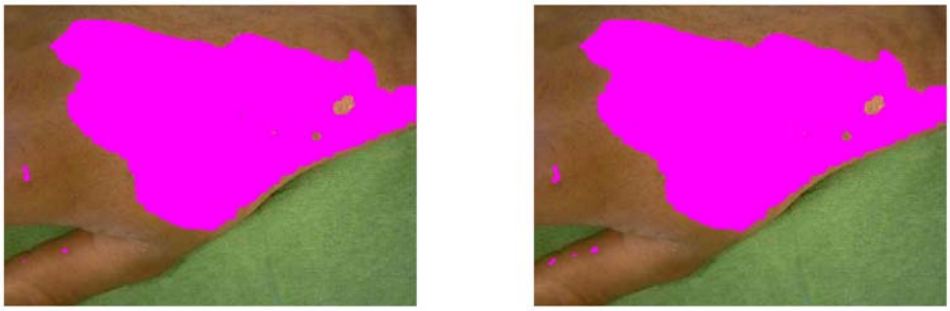

Figura VI-38 Foto2 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Von Mises con introducción de la información de Luminosidad.

2º grado profundo

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-39* y *Figura VI-40.*

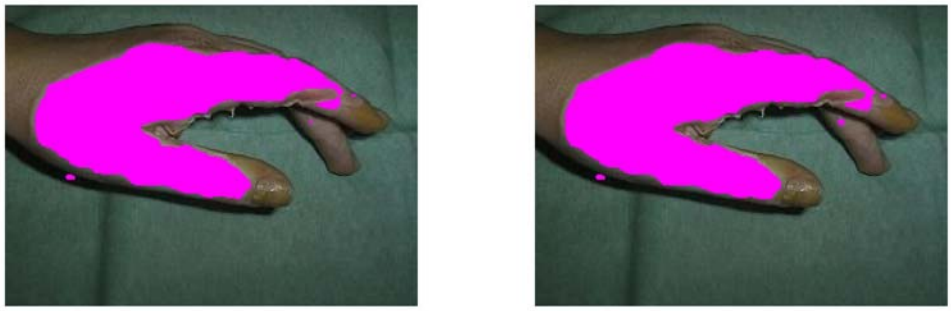

Figura VI-39 Foto3 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Von Mises con introducción de la información de Luminosidad.

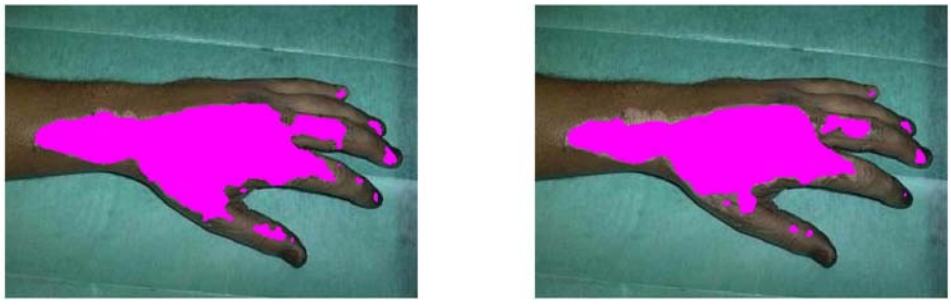

Figura VI-40 Foto4 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Von Mises con introducción de la información de Luminosidad.

3º grado

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-41* y *Figura VI-42*.

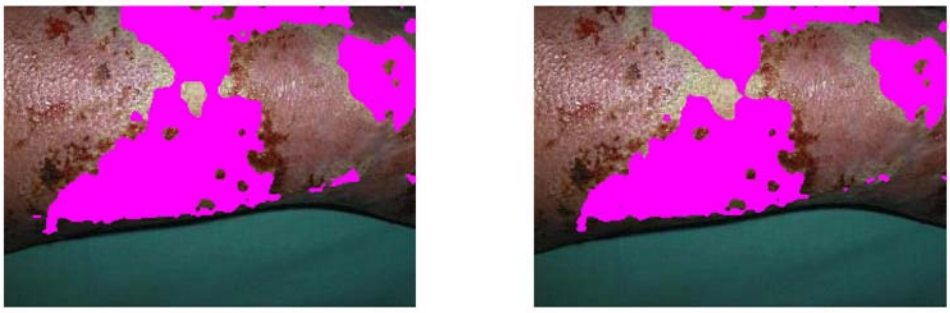

Figura VI-41 Foto5 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Von Mises con introducción de la información de Luminosidad.

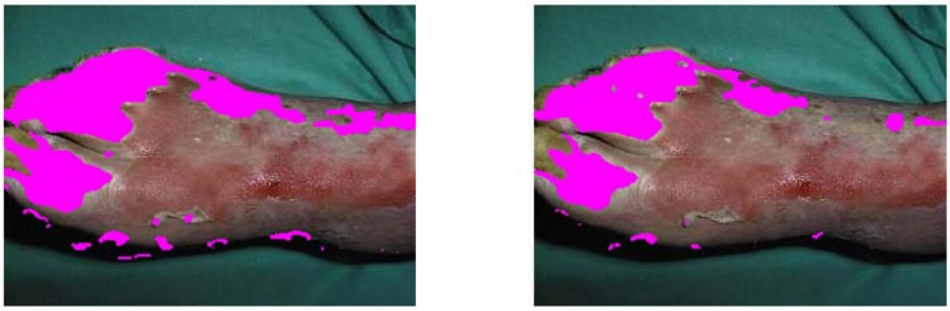

Figura VI-42 Foto6 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Von Mises con introducción de la información de Luminosidad.

6.3.5.3.1. Discusión de los resultados con el algoritmo de Von Mises con introducción de la luminosidad y umbralización automática por el método de búsqueda de picos

Los resultados obtenidos no superan a los obtenidos con umbralización manual utilizando el Algoritmo de Von Mises con introducción de la información de luminosidad.

En fotografías de quemaduras de 2º grado superficial y 2º grado profundo se aprecia que la segmentación es muy parecida a la obtenida con la introducción del umbral manual. Sin embargo, en 2º grado superficial, en algunos casos se reconocen como zonas quemadas partes que pertenecen a la piel sana. En quemaduras de 3º grado ocurre lo contrario, partes que deberían ser reconocidas no se reconocen como quemaduras.

Por tanto, concluimos que en este caso no se observa mejora significativa con respecto al algoritmo de Von Mises con introducción de la información de luminosidad con umbralización automática respecto a la umbralización manual. Si es cierto que los resultados son satisfactorios considerando el valor añadido que aporta una mayor automatización del proceso. El usuario sólo deberá hacer el recorte de la zona de la imagen que desea segmentar.

6.3.5.4. Algoritmo de Textura con umbralización automática por el método de búsqueda de picos

En este caso, al igual que en el algoritmo de Distancias, no debiera existir ningún parámetro configurable, sin embargo, y como se ha comentado en el *apartado 6.3.5*, se ha escogido manualmente cual de los picos generados por este método debería ser el umbral que segmentara la imagen.

En la Tabla VI-8 se presentan, para cada fotografía, los umbrales utilizados en la umbralización manual y aquellos obtenidos que este método automático nos proporciona.

La notación u( ) indica el orden del valor escogido como umbral dentro del vector de valores generado por el método de búsqueda de picos. Un índice mayor en el vector implica un umbral mayor. Como se ha explicado en el apartado anterior, esto se ha realizado con objeto de poder obtener los mejores resultados.

Fotografía	Umbral Automático	Umbral manual
Foto1	0.3255 = u(2)	0.3
Foto2	0.1843 = u(2)	0.2
Foto3	0.2688 = u(3)	0.3
Foto4	0.2353 = u(2)	0.3
Foto5	0.2157 = u(3)	0.3
Foto6	0.1961 = u(3)	0.2

Tabla VI-8 Umbrales utilizados en la umbralización manual y aquellos obtenidos por este método automático para el algoritmo de Textura.

En las siguientes figuras, se muestra, a la derecha la imagen segmentada mediante el algoritmo de Textura, con introducción del umbral manualmente y a la izquierda la misma imagen, pero en este caso con umbralización automática por el método del histograma de homogeneidad.

2º grado superficial

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-43* y *Figura VI-44*.

Figura VI-43 Foto1 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Textura.

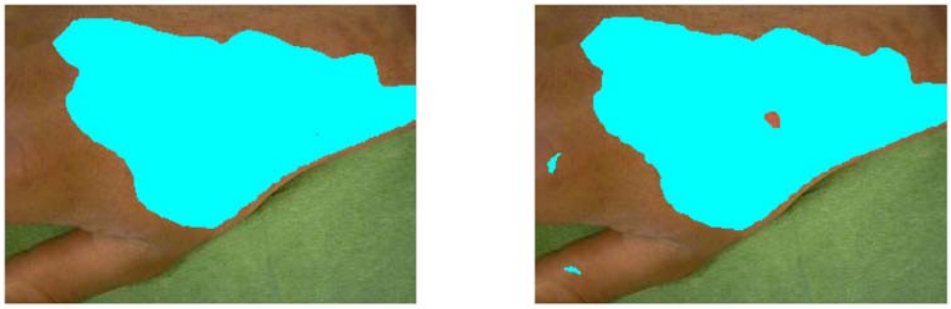

Figura VI-44 Foto2 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Textura.

2º grado profundo

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-45* y *Figura VI-46.*

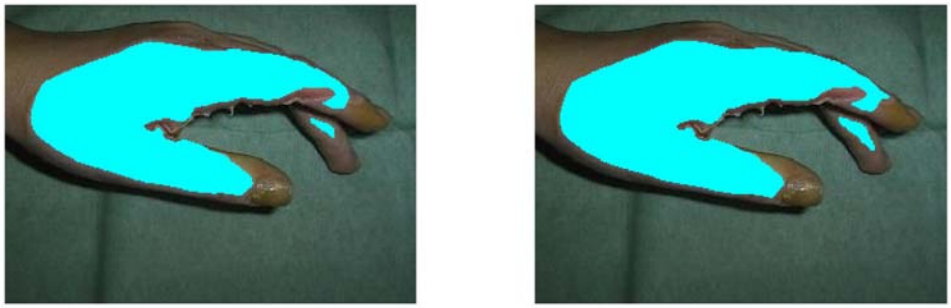

Figura VI-45 Foto3 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Textura.

Figura VI-46 Foto4 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Textura.

3º grado

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-47* y *Figura VI-48*.

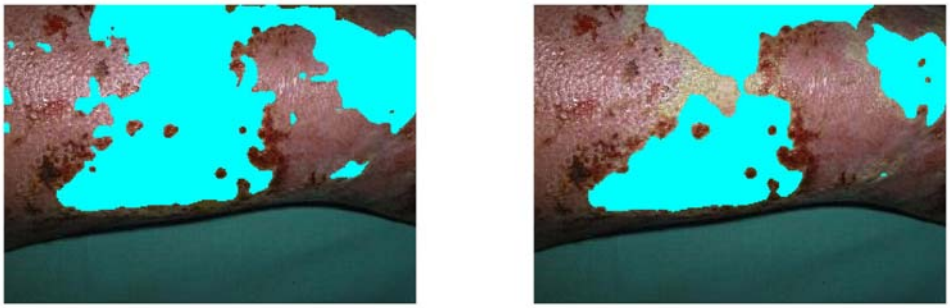

Figura VI-47 Foto5 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Textura.

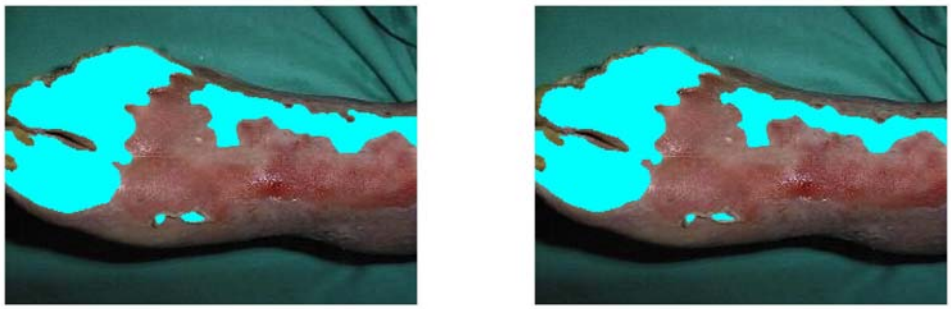

Figura VI-48 Foto6 segmentada con introducción de umbral manual (izquierda) y automático (derecha) en el algoritmo de Textura.

6.3.5.4.1. Discusión de los resultados con el algoritmo de Textura con umbralización automática por el método de búsqueda de picos

En este caso, los resultados aplicando este método de umbralización automática conjuntamente con el algoritmo de Textura son bastante buenos. Los umbrales que aporta el método automático son muy similares a los que se introdujeron manualmente, por ello las zonas segmentadas son también parecidas. En general, los umbrales que halla el algoritmo automáticamente son algo inferiores a los que se eligieron manualmente para obtener los mejores resultados en la segmentación. Sin embargo, los índices de los umbrales óptimos en este algoritmo son mayores, en general, que en el algoritmo de Distancias, lo que indica que, estudiando los picos que proporciona el método de búsqueda de picos, los mayores valores proporcionados son los que en general obtienen mejores resultados en la segmentación de la imagen.

Los resultados son en general buenos. El hecho de tener umbralización automática aporta un considerable valor añadido, que debe ser valorado puesto que minimiza la interacción del usuario con el proceso y acorta el camino hacia la automatización total del proceso.

6.3.6. Múltiple segmentación

Como ya se comentó en el apartado anterior esta variante consiste en realizar la segmentación de más de una parte de la imagen. Es decir, no sólo se hace el recorte y la segmentación de la parte de piel quemada, sino que además de hacer ésta se hace la segmentación de la piel sana, así como del fondo de la imagen. De esta manera se pueden detectar las zonas problemáticas, donde se reconoce más de un tipo.

El código de colores utilizado es:

- El verde representa el fondo de la imagen.
- El amarillo representa la piel sana.
- La piel quemada será representada por diferentes colores, dependiendo del algoritmo utilizado, Von Mises, Distancias o Textura.

Para las zonas problemáticas se utilizan:

- Rosa fuerte: representa las zonas donde se reconoce piel quemada y piel sana
- Amarillo pálido: representa la región reconocida como piel sana y fondo de imagen
- Rosa pálido: representa la región reconocida como piel quemada y fondo de imagen

En este estudio se aplica el algoritmo de multisegmentación junto con los algoritmos de Von Mises y de Distancias. Se podría realizar con cualquier otro algoritmo de segmentación, así como en combinación con cualquiera de las variantes presentadas.

6.3.6.1. Algoritmo de Von Mises con Multisegmentación

En este caso se aplica el algoritmo de Von Mises, pero en lugar de realizar la segmentación de sólo la parte quemada, se segmenta también la piel sana y el fondo de imagen.

En este caso los parámetros configurables son los umbrales de cada una de los tipos que queremos segmentar, es decir el umbral para piel quemada, piel sana y fondo de imagen.

Fotografía	Umbral Piel Quemada	Umbral Piel Sana	Umbral Fondo imagen
Foto1	0.65	0.5	0.3
Foto2	0.8	0.6	0.8
Foto3	0.4	0.5	0.9
Foto4	0.4	0.5	0.75
Foto5	0.4	0.45	0.9
Foto6	0.6	0.5	0.9

Tabla VI-9 Umbrales utilizados para la multisegmentación en el algoritmo de Von Mises

Las imágenes que se representarán son cada una de las segmentaciones individuales obtenidas, así como con las tres segmentaciones realizadas y por último con la representación de las zonas problemáticas.

2º grado superficial

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-49* y *Figura VI-50*.

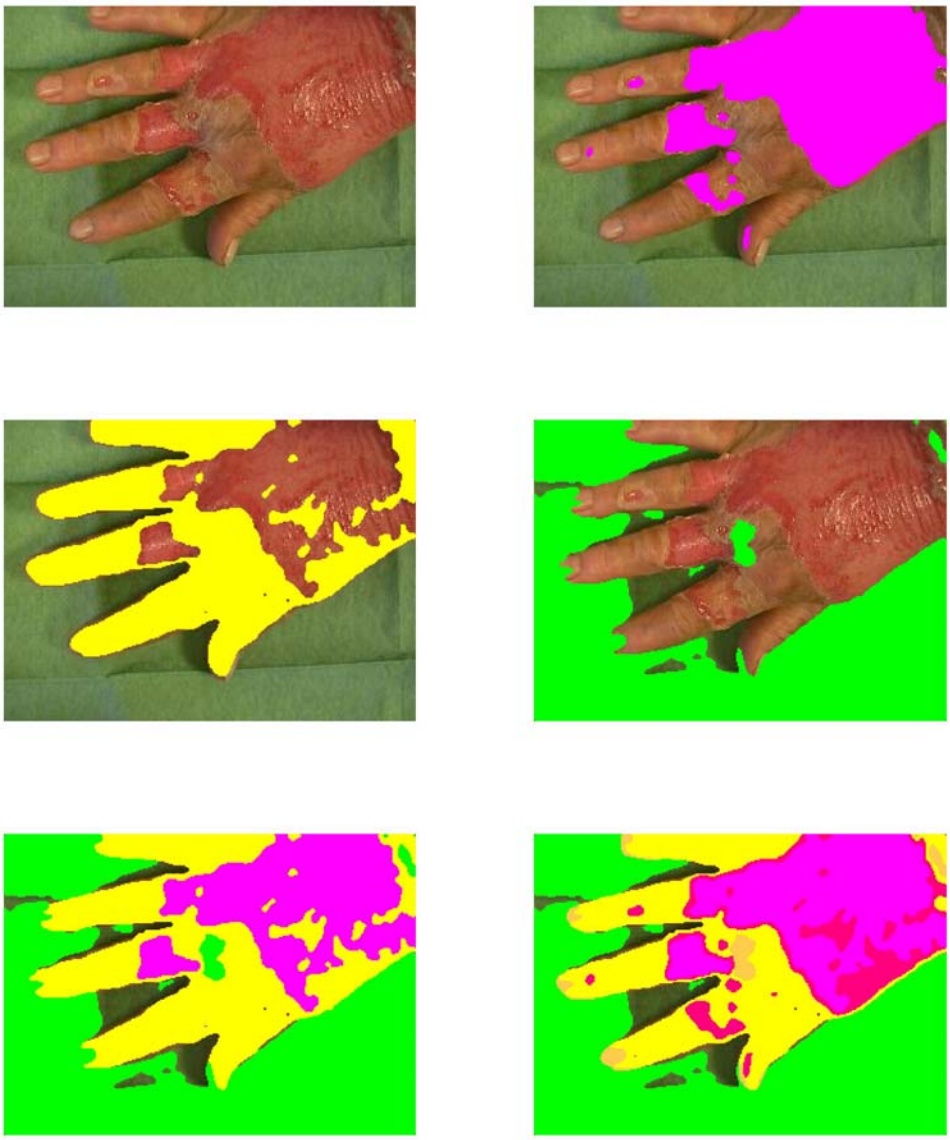

Figura VI-49 Foto1, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Foto original sin segmentar, segmentación de la piel quemada, segmentación de la piel sana, segmentación del fondo de imagen, representación conjunta de las tres segmentaciones y finalmente, representación de la imagen con zonas problemáticas representadas.

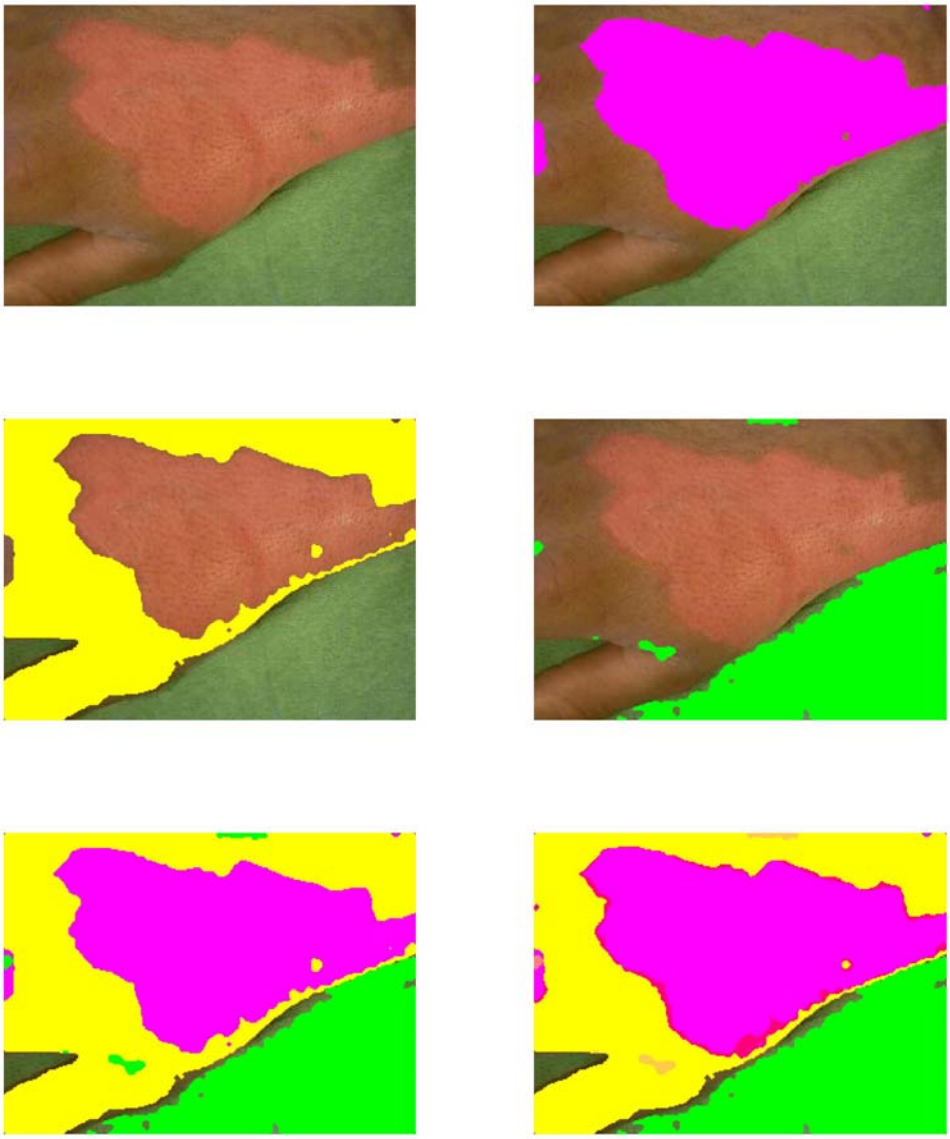

Figura VI-50 Foto2, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Foto original sin segmentar, segmentación de la piel quemada, segmentación de la piel sana, segmentación del fondo de imagen, representación conjunta de las tres segmentaciones y finalmente, representación de la imagen con zonas problemáticas representadas.

2º grado profundo

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-51* y *VI-52*.

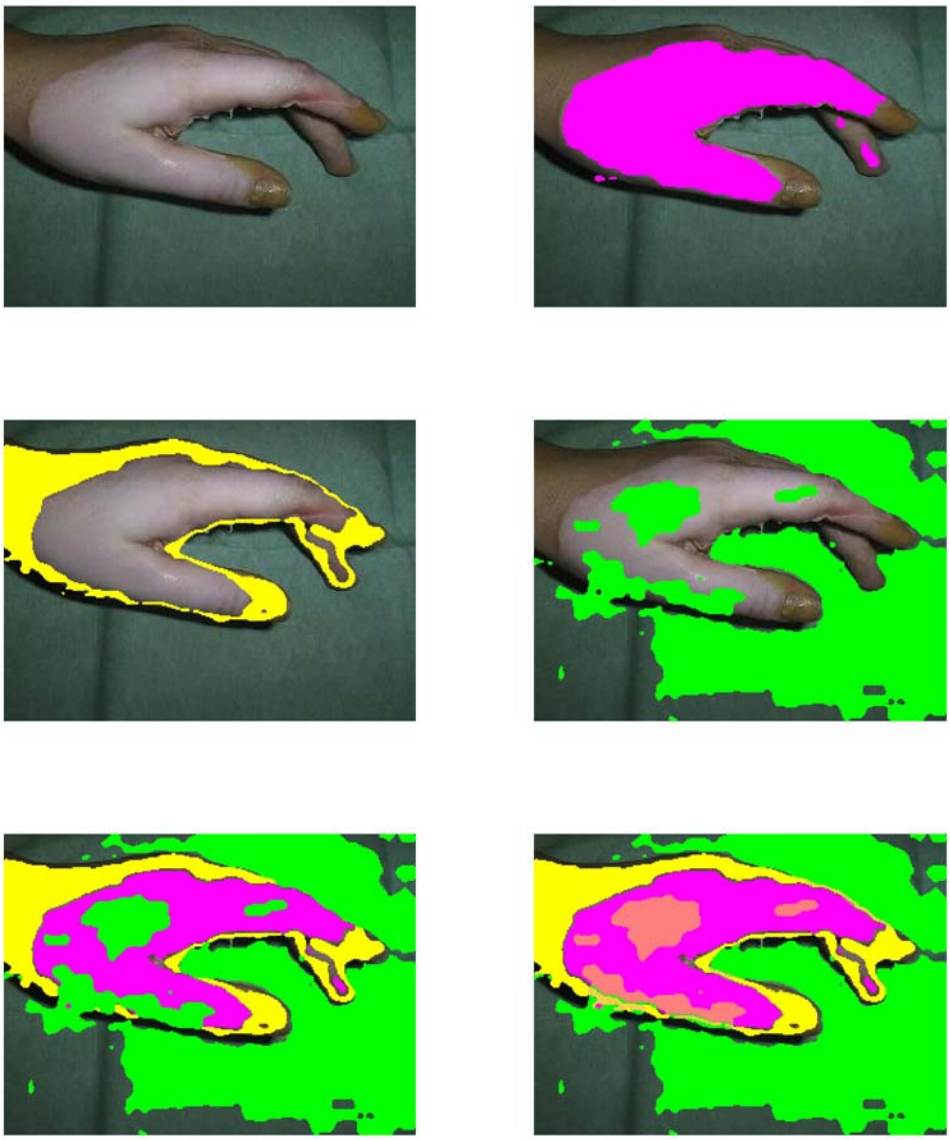

Figura VI-51 Foto3, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Foto original sin segmentar, segmentación de la piel quemada, segmentación de la piel sana, segmentación del fondo de imagen, representación conjunta de las tres segmentaciones y finalmente, representación de la imagen con zonas problemáticas representadas.

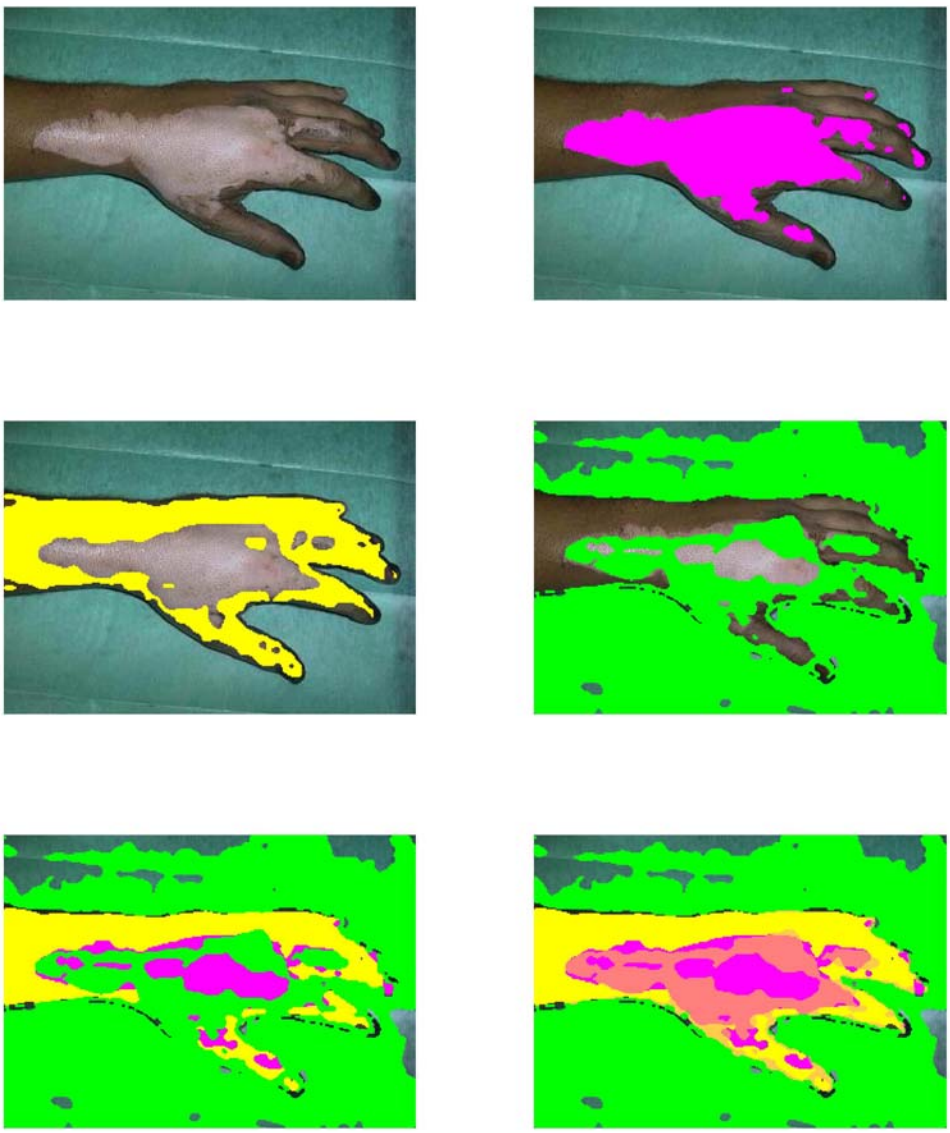

Figura VI-52 Foto4, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Foto original sin segmentar, segmentación de la piel quemada, segmentación de la piel sana, segmentación del fondo de imagen, representación conjunta de las tres segmentaciones y finalmente, representación de la imagen con zonas problemáticas representadas.

3º grado

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-53* y *VI-54*.

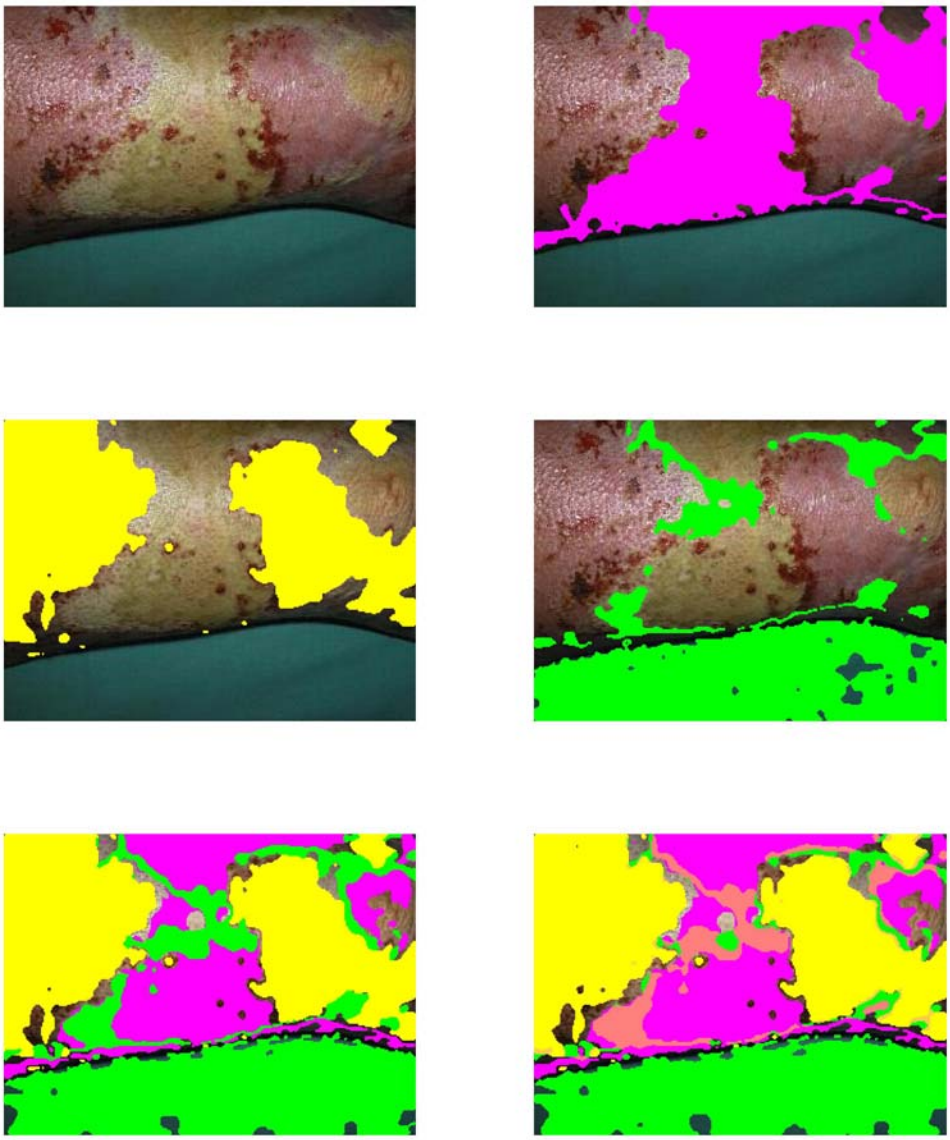

Figura VI-53 Foto5, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Foto original sin segmentar, segmentación de la piel quemada, segmentación de la piel sana, segmentación del fondo de imagen, representación conjunta de las tres segmentaciones y finalmente, representación de la imagen con zonas problemáticas representadas.

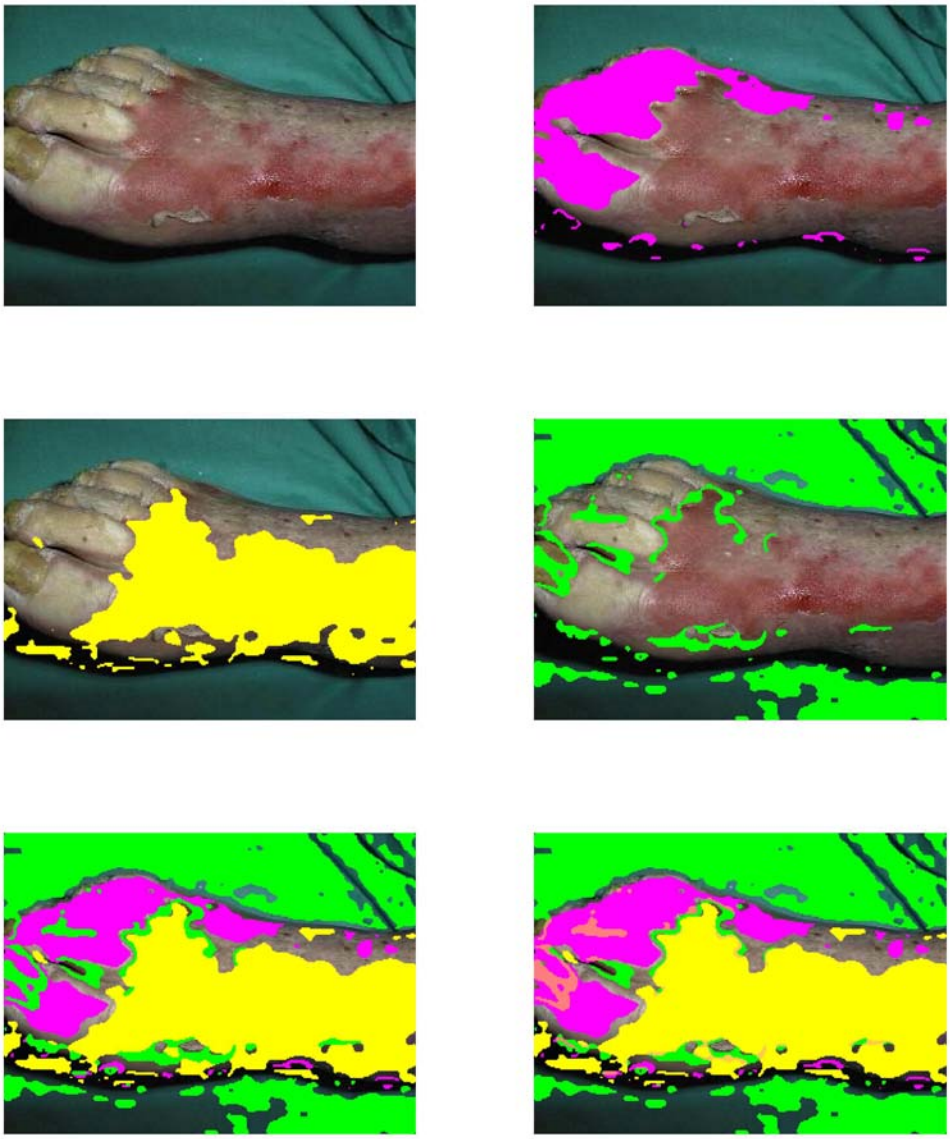

Figura VI-54 Foto6, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Foto original sin segmentar, segmentación de la piel quemada, segmentación de la piel sana, segmentación del fondo de imagen, representación conjunta de las tres segmentaciones y finalmente, representación de la imagen con zonas problemáticas representadas.

6.3.6.1.1. Discusión de los resultados obtenidos aplicando el algoritmo de Von Mises con múltiple segmentación

En este caso, se hace la segmentación de cada una de las zonas de la imagen, fondo, piel sana y piel quemada. El umbral se ha introducido de forma manual, utilizando para la piel quemada aquel que se utilizó cuando se aplicó Von Mises sin múltiple segmentación. Para la piel sana y el fondo de la imagen se han ajustado los umbrales manualmente hasta obtener los mejores resultados. Analicemos estos para cada fotografía:

- Quemaduras de 2º grado superficial

Estas son las imágenes con las cuales se obtienen los mejores resultados. Sobre todo en la foto2 donde se aprecia una buena aproximación a las diferentes zonas quemadas.

- Quemaduras de 2º grado profundo

En estos casos no se obtienen resultados tan buenos como en el caso anterior. Se reconocen zonas de la piel que pertenecen a un grupo dentro del otro. La piel sana y la piel quemada se reconocen bien, es el fondo de la imagen el que causa problemas.

- Quemaduras de 3º grado

Ocurre lo mismo que con las quemaduras de 2º grado profundo, la piel sana y la piel quemada se reconocen bastante bien, sin embargo el fondo de la imagen sigue causando problemas.

El hecho de que el fondo de la imagen no se reconozca correctamente es debido a que las fotografías utilizadas en este estudio contienen fondos de colores muy oscuros. Al utilizarse el algoritmo de Von Mises que no utiliza la información de luminosidad, a la hora de segmentar ciertas zonas existen problemas con las sombras, etc.

No obstante la valoración de la modificación introducida es bastante positiva, puesto que facilita el reconocimiento de las distintas zonas de la imagen.

6.3.6.2. Algoritmo de Distancias con Multisegmentación

En este caso se aplica el algoritmo de Distancias, pero en lugar de realizar la segmentación de sólo la parte quemada, se segmenta también la piel sana y el fondo de imagen.

Los parámetros configurables son los umbrales de cada una de los tipos que queremos segmentar, es decir el umbral para piel quemada, piel sana y fondo de imagen. En la tabla VI-10 se indican estos parámetros configurables.

Fotografía	Umbral Piel Quemada	Umbral Piel Sana	Umbral Fondo imagen
Foto1	0.3	0.2	0.1
Foto2	0.15	0.25	0.2
Foto3	0.15	0.25	0.2
Foto4	0.2	0.3	0.2
Foto5	0.2	0.25	0.2
Foto6	0.1	0.2	0.2

Tabla VI-10 Umbrales utilizados para la multisegmentación en el algoritmo de Distancias

Las imágenes que se representarán son cada una de las segmentaciones individuales obtenidas, así como con las tres segmentaciones realizadas y por último con la representación de las zonas problemáticas.

2º grado superficial

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-55* y *Figura VI-56*.

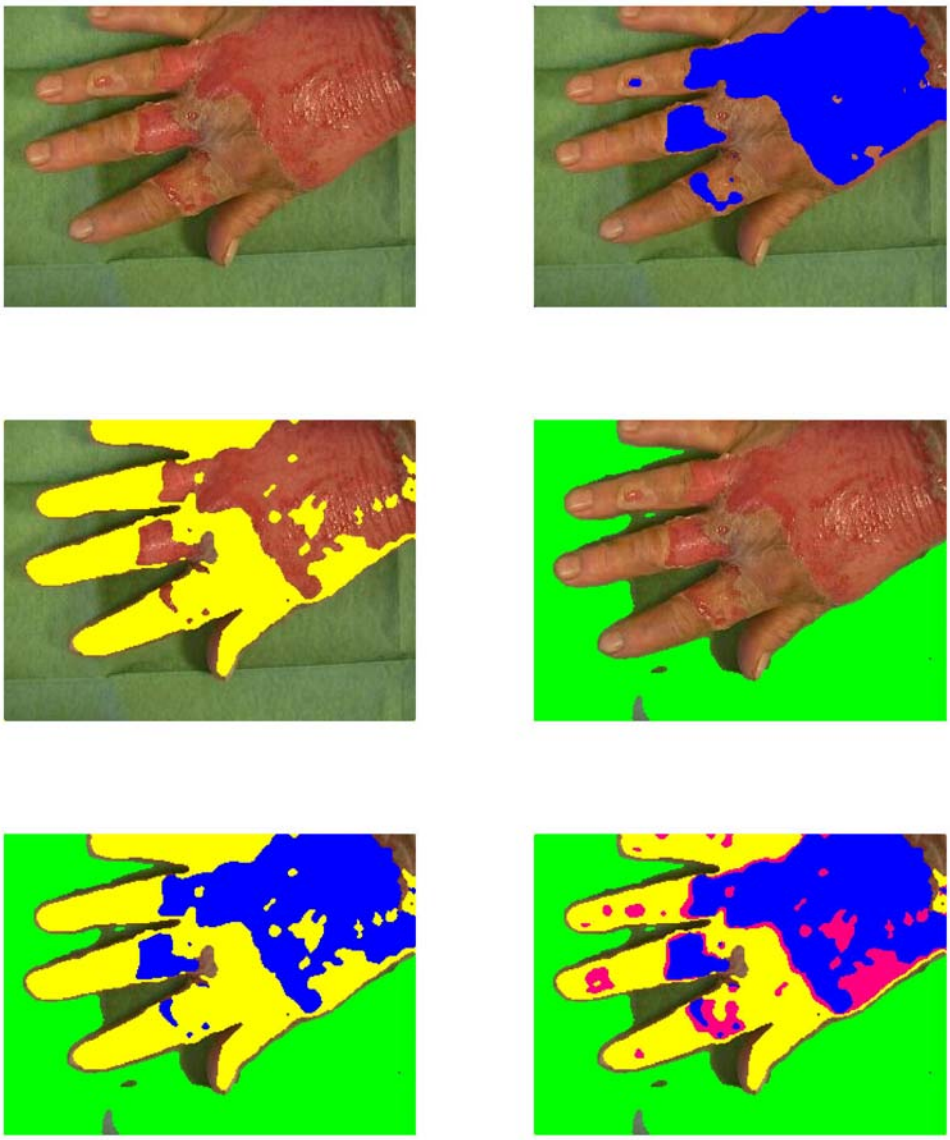

Figura VI-55 Foto1, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Foto original sin segmentar, segmentación de la piel quemada, segmentación de la piel sana, segmentación del fondo de imagen, representación conjunta de las tres segmentaciones y finalmente, representación de la imagen con zonas problemáticas representadas.

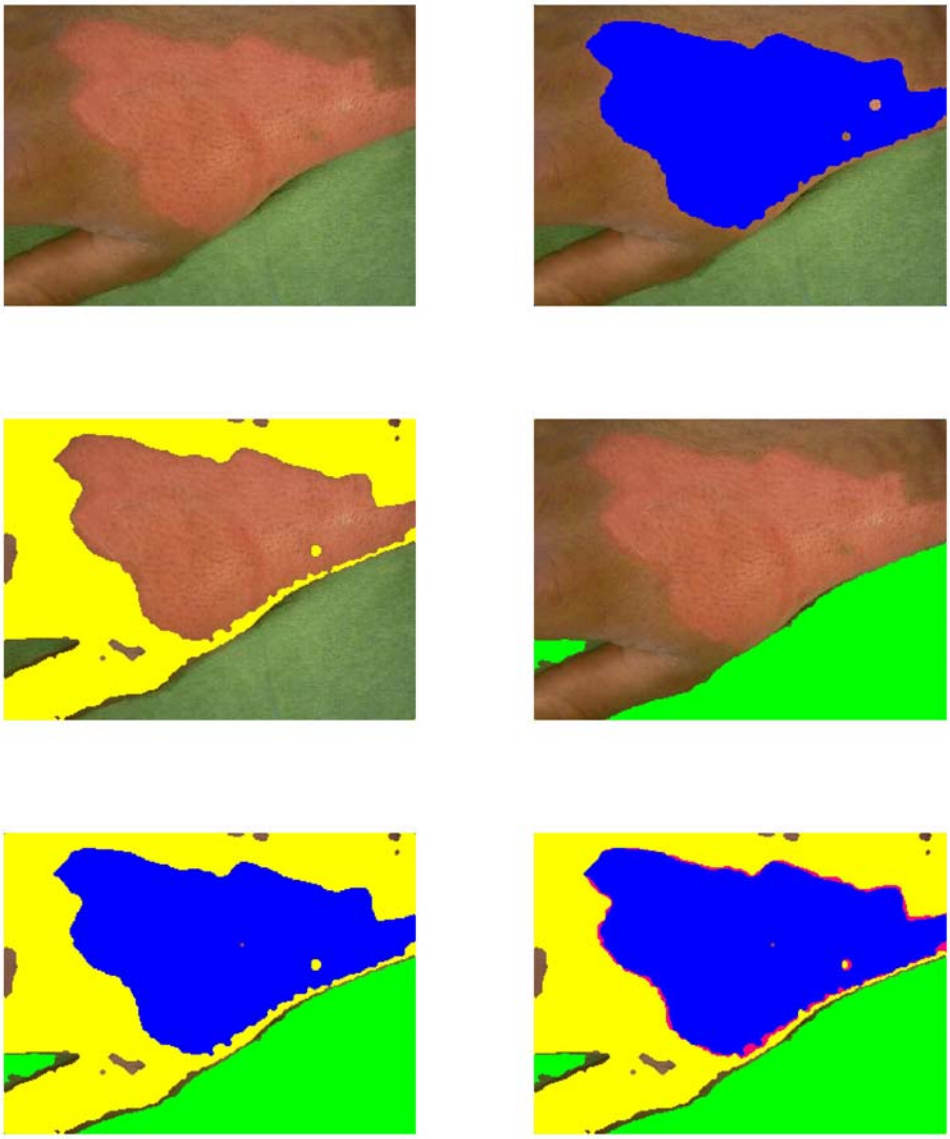

Figura VI-56 Foto2, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Foto original sin segmentar, segmentación de la piel quemada, segmentación de la piel sana, segmentación del fondo de imagen, representación conjunta de las tres segmentaciones y finalmente, representación de la imagen con zonas problemáticas representadas.

2º grado profundo

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-57* y *VI-58*.

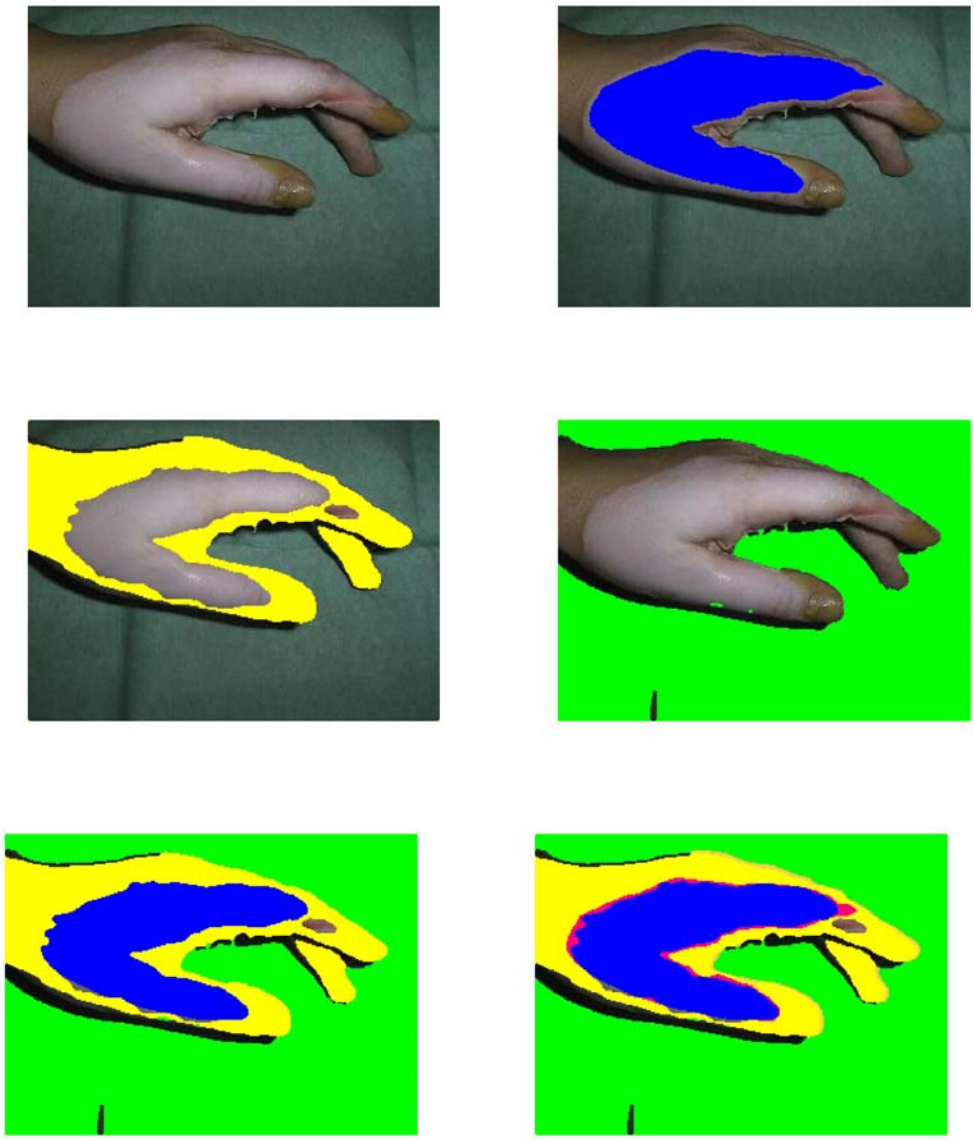

Figura VI-57 Foto3, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Foto original sin segmentar, segmentación de la piel quemada, segmentación de la piel sana, segmentación del fondo de imagen, representación conjunta de las tres segmentaciones y finalmente, representación de la imagen con zonas problemáticas representadas.

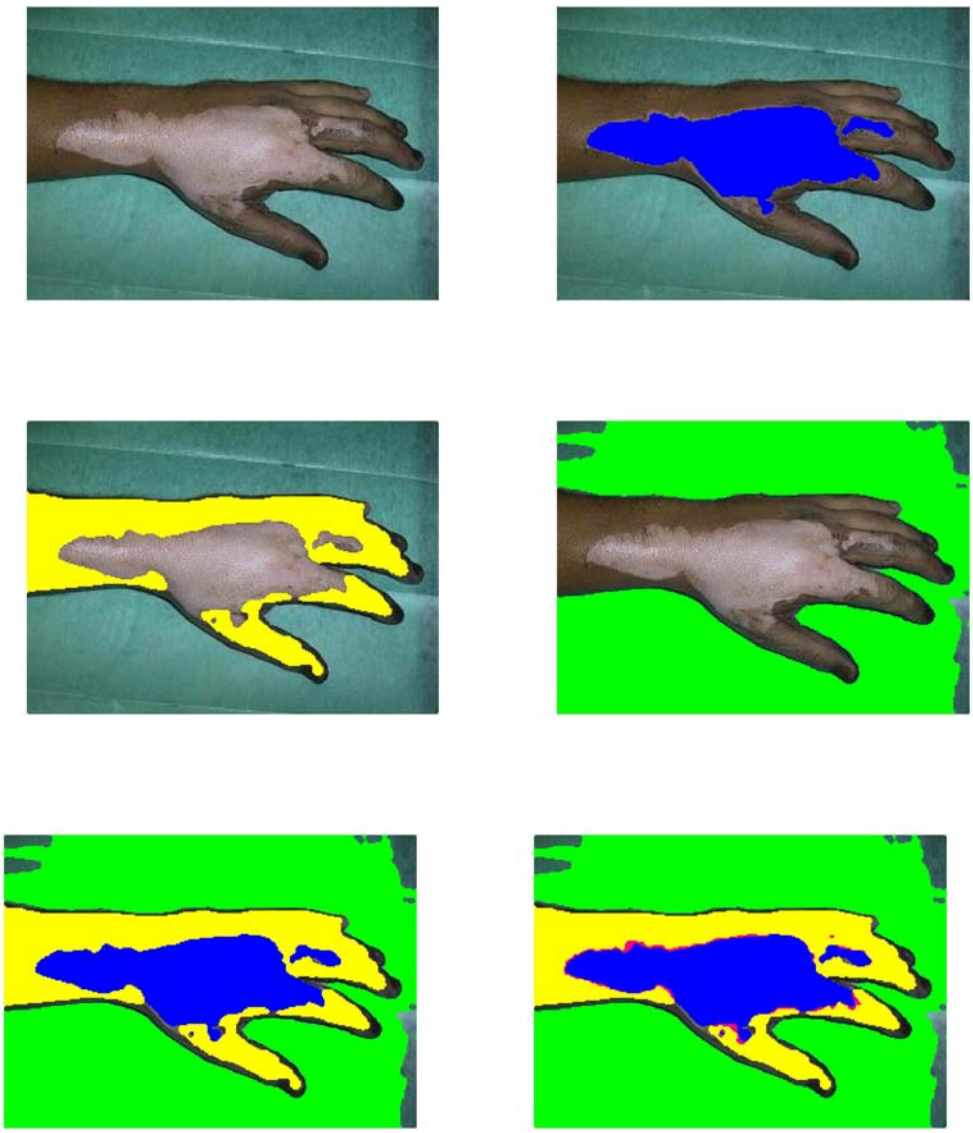

Figura VI-58 Foto4, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Foto original sin segmentar, segmentación de la piel quemada, segmentación de la piel sana, segmentación del fondo de imagen, representación conjunta de las tres segmentaciones y finalmente, representación de la imagen con zonas problemáticas representadas.

3º grado

Las imágenes segmentadas se muestran en la *figura VI-59* y *VI-60*.

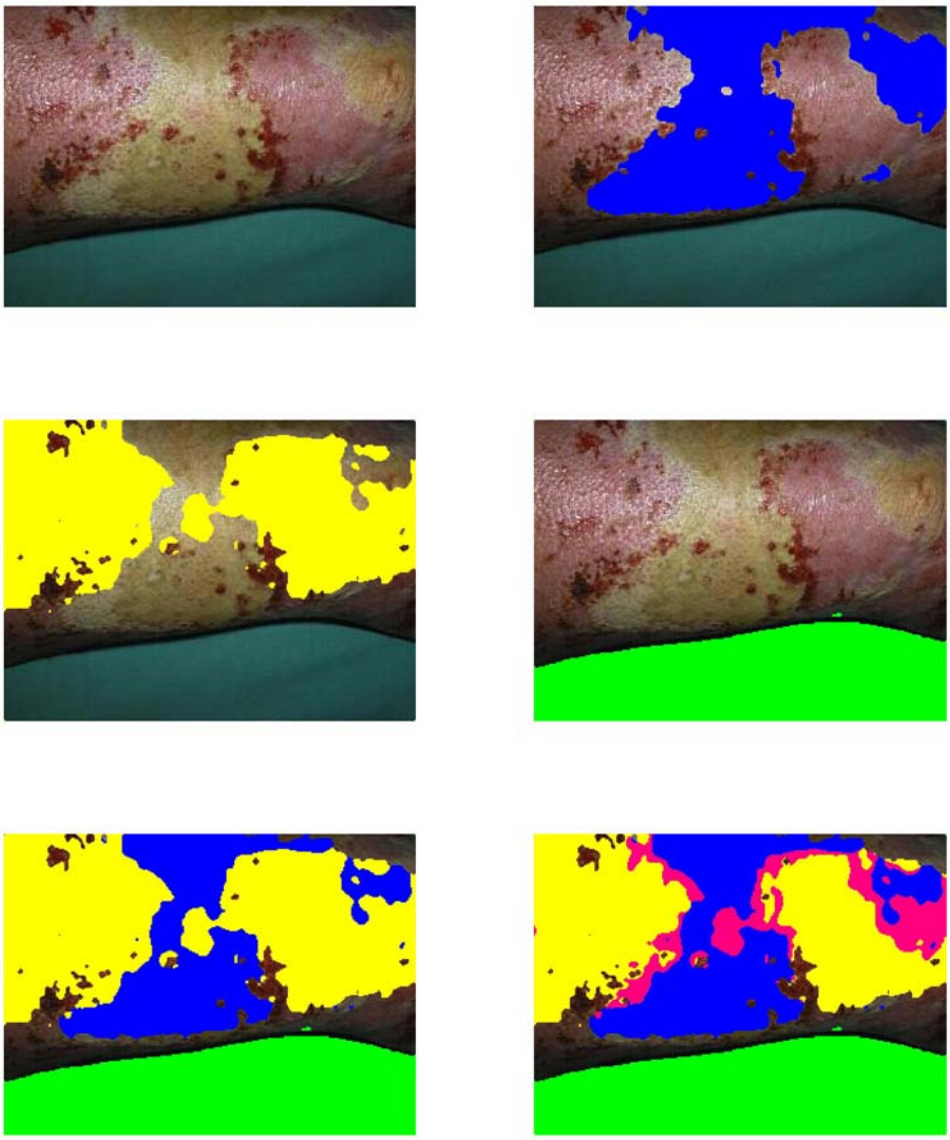

Figura VI-59 Foto5, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Foto original sin segmentar, segmentación de la piel quemada, segmentación de la piel sana, segmentación del fondo de imagen, representación conjunta de las tres segmentaciones y finalmente, representación de la imagen con zonas problemáticas representadas.

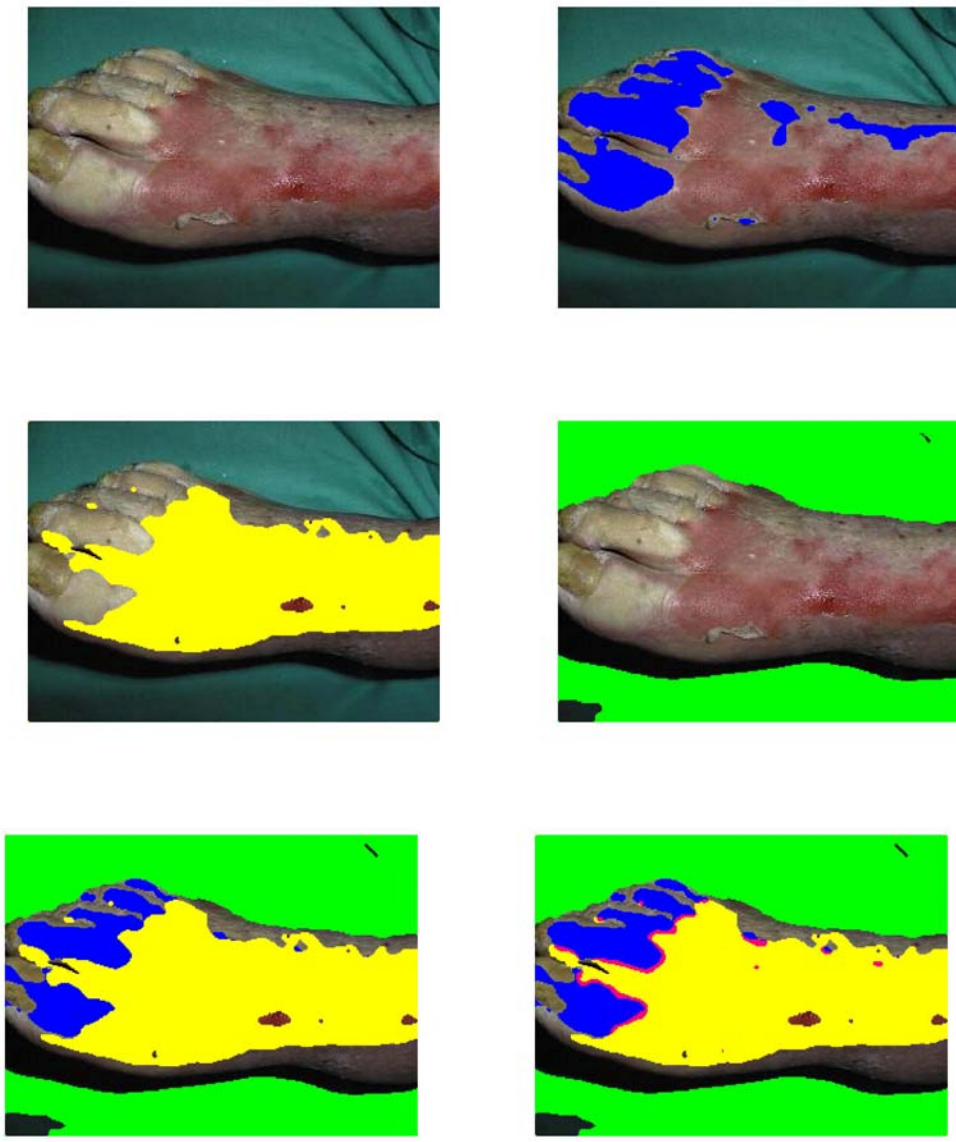

Figura VI-60 Foto6, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Foto original sin segmentar, segmentación de la piel quemada, segmentación de la piel sana, segmentación del fondo de imagen, representación conjunta de las tres segmentaciones y finalmente, representación de la imagen con zonas problemáticas representadas.

6.3.6.2.1. Discusión de los resultados obtenidos aplicando el algoritmo de Distancias con Múltiple segmentación

En este caso se obtiene muy buenos resultados aplicando el algoritmo de Distancias con múltiple segmentación. No encontramos los problemas que aparecían en el caso de utilizar el algoritmo de Distancias. Con el algoritmo de Von Mises ocurría que al no considerar la información de luminosidad se confundían zonas del fondo de la imagen con la piel sana y la piel quemada, esto no ocurre ahora, las diferentes zonas son segmentadas con bastante exactitud y apenas existe superposición de una zona con otra.

6.3.7. Sustitución del recorte por una semilla, media de un banco de recortes

Lo que se pretende ahora es que el usuario no tenga que efectuar ningún recorte sobre la imagen a segmentar. Ésta se segmentará pasando una semilla, que es la media de un banco de recortes. En el banco de recortes existen cincuenta imágenes de cada una de las cinco categorías a segmentar, es decir

a) Ampollas/vesículas: tienen una textura brillante y color entre rosa y marrón
b) 2º grado superficial: el color es rojo brillante y su aspecto húmedo
c) 2º grado profundo: el color es blanco-rosado y puede tener aspecto moteado
d) 3º grado blanco: tienen un color blanquecino- amarillento, color pergamino
e) 3º grado marrón: su color es marrón oscuro

A la hora de indicar la semilla, el usuario deberá indicar a que categoría pertenece. De esta forma, el programa trabaja con la semilla haciendo ésta las veces de recorte. A la hora de hallar la media de todos los recortes, se podrá obtener dicha media habiendo difundido los recortes previamente o bien sin aplicarle difusión, será una opción que deberá elegir el usuario. En la tabla VI-11 se indican estos valores.

Categoría	Valor del píxel medio sin aplicar difusión (R, G, B)	Valor del píxel medio aplicando difusión (R, G, B)
Ampollas/Vesículas	0.5020, 0.4237, 0.3583	0.5012, 0.4228, 0.3573
2º g. superficial	0.6701, 0.4191, 0.3417	0.6700, 0.4190, 0.3415
2º g. profundo	0.6504, 0.5956, 0.5959	0.6504, 0.5955, 0.5958
3º g. blanco	0.6594, 0.6184, 0.4711	0.6592, 0.6182, 0.4709
3º g. marrón	0.3026, 0.2381, 0.1513	0.3026, 0.2373, 0.1499

Tabla VI-11 Valor del píxel medio obtenido del banco de recortes

Tal y como en este trabajo se ha hecho el planteamiento del proceso implica que el usuario introduzca el grado de la quemadura para el cálculo de la semilla, puesto que hay que calcularla sobre unos recortes determinados. Este trabajo es un trabajo preliminar, se ha tratado de estudiar el comportamiento de la segmentación utilizando una semilla determinada, en futuras investigaciones se deberá automatizar el proceso aún más, de forma que el usuario no necesite conocer nada sobre el grado de la quemadura para realizar una correcta segmentación.

6.3.7.1. Sustitución del recorte por una semilla, aplicando el Algoritmo de Von Mises

Se muestra a continuación el resultado obtenido aplicando este algoritmo. Para cada una de las seis imágenes tratadas en este trabajo, se presenta la imagen segmentada por el método de Von Mises, realizando difusión de los recortes antes de hallar la media y sin realizarla y la comparación con la imagen original que se desea segmentar. Ya que no hemos introducido umbralización automática en esta variante de algoritmo, el umbral debe ser introducido manualmente por el usuario. En la tabla VI-12 se indican estos umbrales y su relación con los umbrales que anteriormente fueron introducidos manualmente para realizar la segmentación en el algoritmo de Von Mises original.

Fotografía	Umbral Actual sin difundir	Umbral Actual con difusión	Umbral original
Foto1	0.7	0.7	0.65
Foto2	0.75	0.75	0.8
Foto3	0.5	0.5	0.4
Foto4	0.45	0.45	0.4
Foto5	0.45	0.45	0.4
Foto6	0.55	0.55	0.6

Tabla VI-12 Umbrales para el algoritmo de Von Mises con paso de semilla con y sin difusión aplicada al banco de recortes.

2º grado superficial

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-61* y *Figura VI-62*.

- Foto 1:

Figura VI-61 Foto1, de izquierda a derecha y de arriba abajo, foto original a segmentar, foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida sin realizar difusión de los recortes del banco y foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida realizando difusión de los recortes.

- Foto 2:

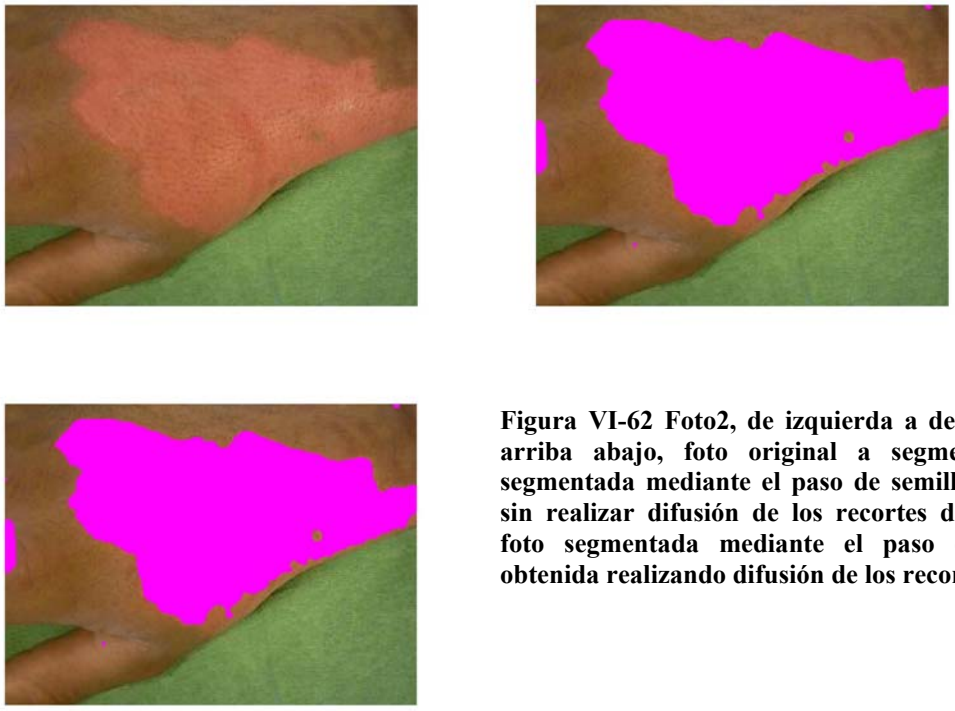

Figura VI-62 Foto2, de izquierda a derecha y de arriba abajo, foto original a segmentar, foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida sin realizar difusión de los recortes del banco y foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida realizando difusión de los recortes.

2º grado profundo

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-63* y *Figura VI-64.*

- Foto 3:

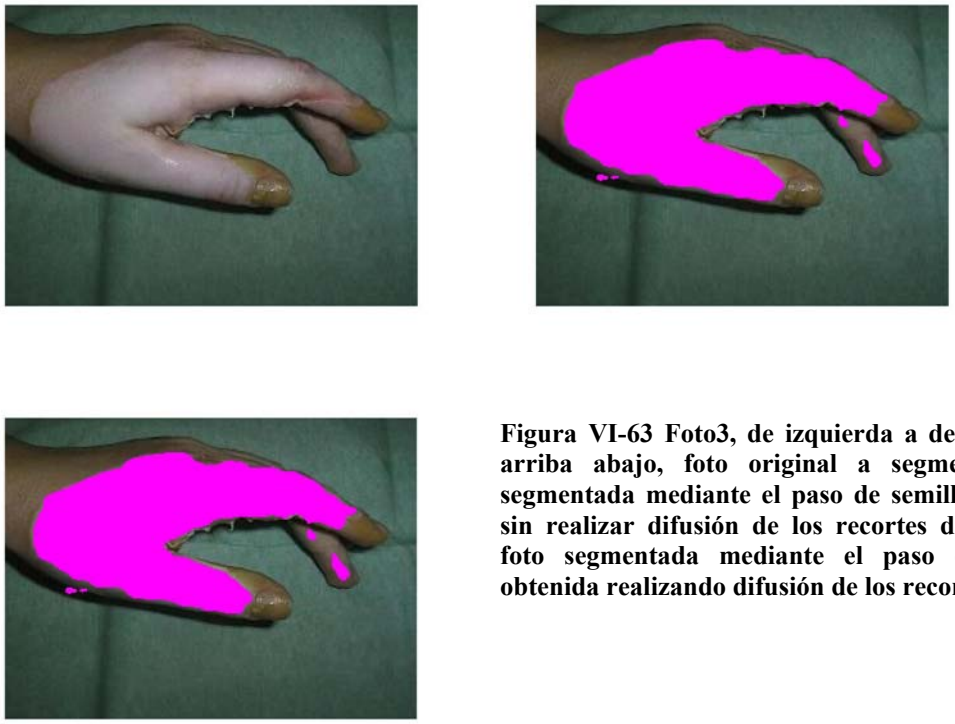

Figura VI-63 Foto3, de izquierda a derecha y de arriba abajo, foto original a segmentar, foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida sin realizar difusión de los recortes del banco y foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida realizando difusión de los recortes.

- Foto 4:

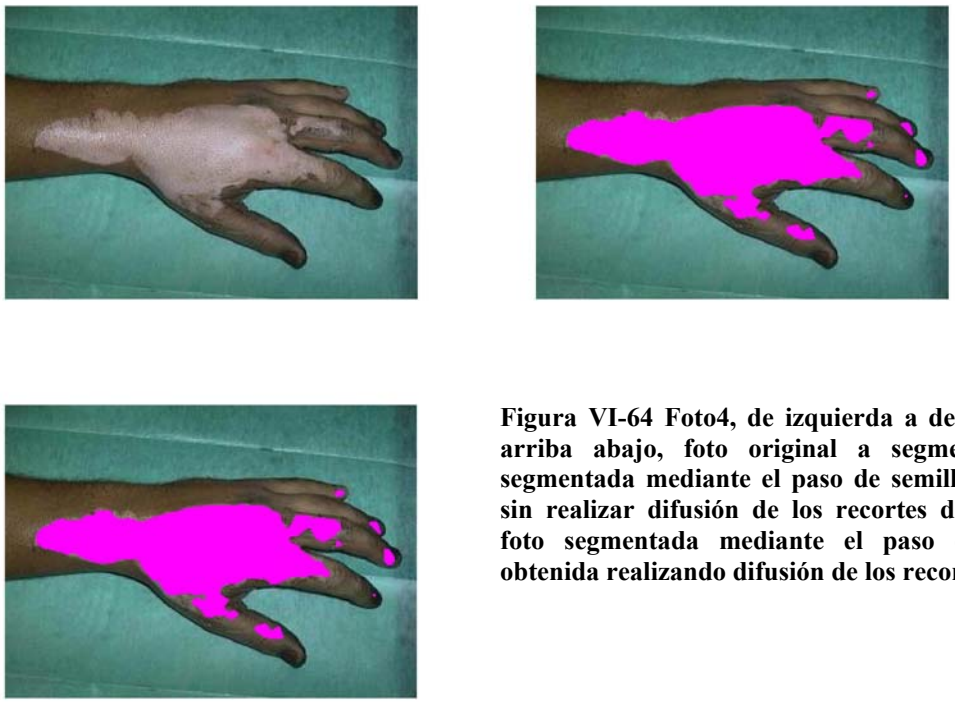

Figura VI-64 Foto4, de izquierda a derecha y de arriba abajo, foto original a segmentar, foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida sin realizar difusión de los recortes del banco y foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida realizando difusión de los recortes.

3º grado

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-65* y *Figura VI-66*.

- Foto 5:

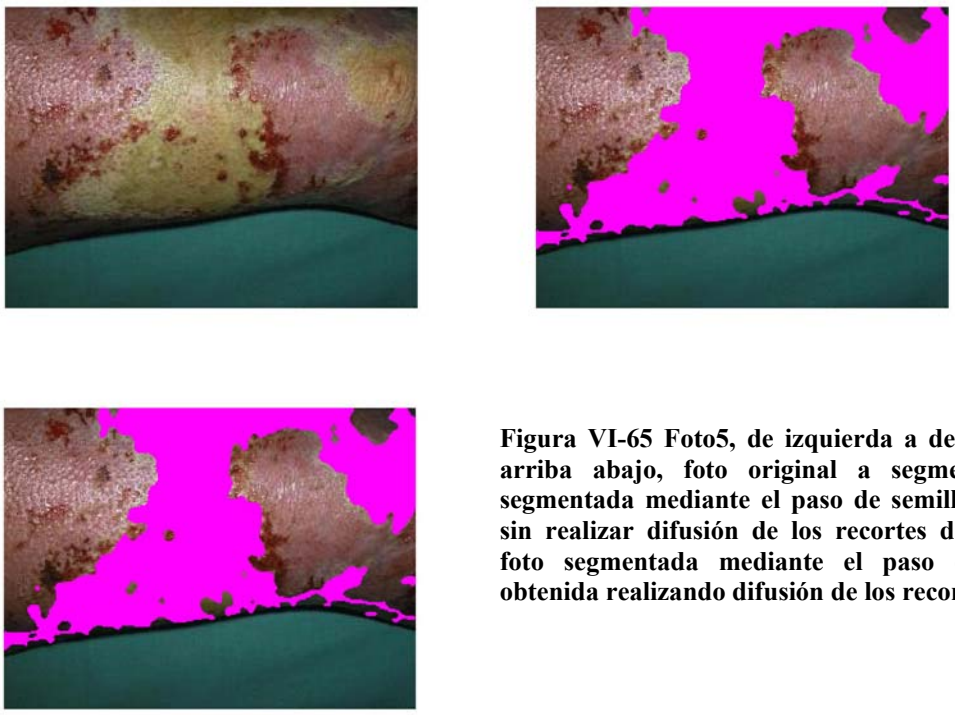

Figura VI-65 Foto5, de izquierda a derecha y de arriba abajo, foto original a segmentar, foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida sin realizar difusión de los recortes del banco y foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida realizando difusión de los recortes.

- Foto 6:

Figura VI-66 Foto5, de izquierda a derecha y de arriba abajo, foto original a segmentar, foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida sin realizar difusión de los recortes del banco y foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida realizando difusión de los recortes.

6.3.7.1.1. Discusión de los resultados obtenidos con el algoritmo de Von Mises sustituyendo el recorte por una semilla

En todo proceso se tiende a la automatización. La sustitución del recorte antes realizado por el usuario, por una semilla media de un banco de recorte soluciona problemas causados por la no automatización. El usuario no deberá introducir el umbral de manera manual, sino que es el mismo programa el que obtiene un valor medio, esto aporta muchas ventajas. Como se ha comentado anteriormente, en este estudio preliminar sobre el comportamiento de la segmentación utilizando una semilla media de un banco de recortes es necesario conocer el grado de la quemadura para calcular dicha semilla, esto debe ser mejorado en estudios posteriores, con objeto de poder automatizar completamente el proceso de segmentación.

Los resultados obtenidos utilizando esta técnica son muy buenos. Sí es de apreciar que no existe diferencia significativa si se hace la media de los recortes difundiendo estos previamente o no. Esto se observa estudiando las imágenes o bien al comparar el valor del píxel medio obtenido por un método o por otro (Véase Tabla VI-11).

6.3.7.2. Sustitución del recorte por una semilla, aplicando el Algoritmo de Distancias

Se muestra a continuación el resultado obtenido aplicando este algoritmo. Para cada una de las seis imágenes tratadas en este trabajo, se presenta la imagen segmentada por el algoritmo de Distancias, realizando difusión de los recortes antes de hallar la media y sin realizarla y la comparación con la imagen original que se desea segmentar. Ya que no hemos introducido umbralización automática en esta variante de algoritmo, el umbral debe ser introducido manualmente por el usuario. En la tabla VI-13 se indican estos umbrales y su relación con los umbrales que anteriormente fueron introducidos manualmente para realizar la segmentación en el algoritmo de Distancias original.

Fotografía	Umbral Actual sin difundir	Umbral Actual con difusión	Umbral original
Foto1	0.3	0.3	0.3
Foto2	0.25	0.25	0.15
Foto3	0.2	0.2	0.15
Foto4	0.2	0.2	0.2
Foto5	0.2	0.2	0.2
Foto6	0.15	0.15	0.2

Tabla VI-13 Umbrales para el algoritmo de Distancias con paso de semilla con y sin difusión aplicada al banco de recortes.

2º grado superficial

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-67* y *Figura VI-68*.

- Foto 1:

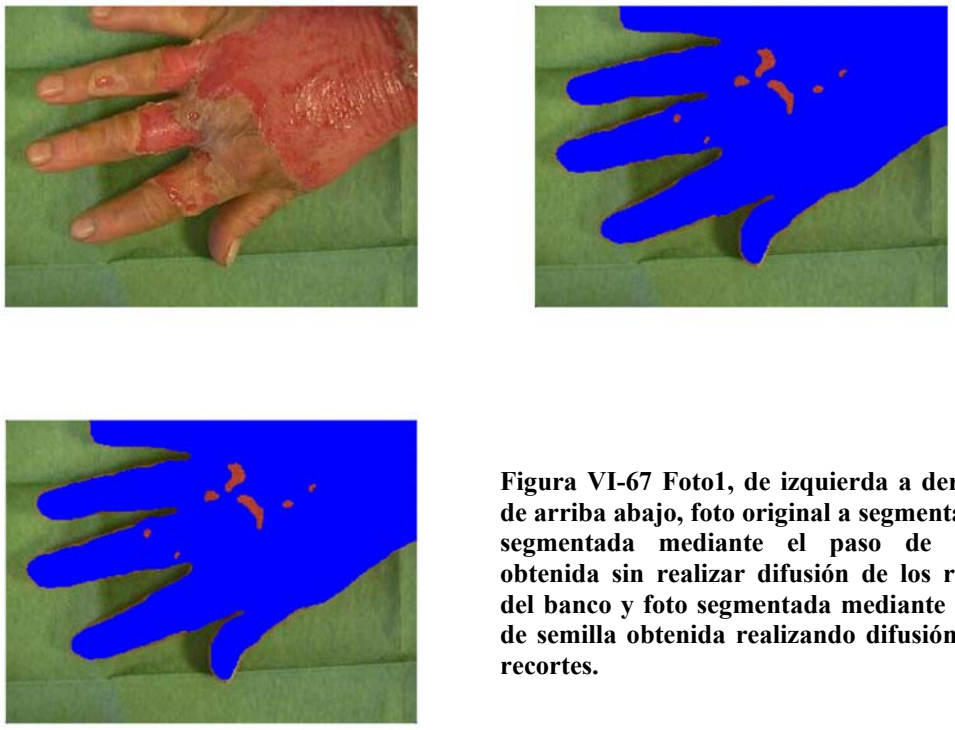

Figura VI-67 Foto1, de izquierda a derecha y de arriba abajo, foto original a segmentar, foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida sin realizar difusión de los recortes del banco y foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida realizando difusión de los recortes.

- Foto 2:

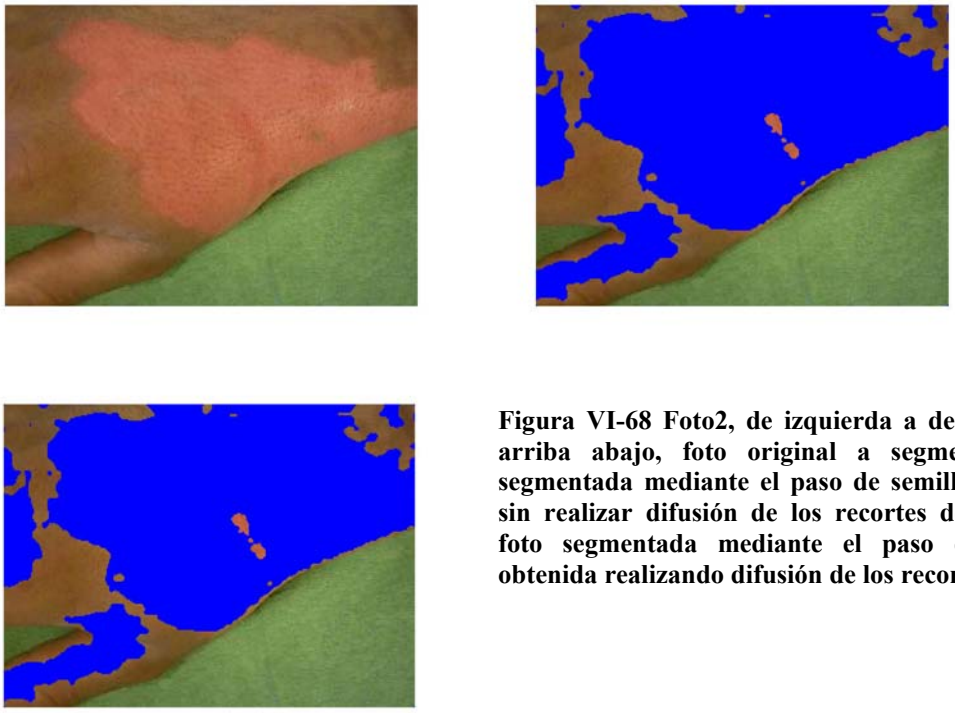

Figura VI-68 Foto2, de izquierda a derecha y de arriba abajo, foto original a segmentar, foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida sin realizar difusión de los recortes del banco y foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida realizando difusión de los recortes.

2º grado profundo

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-69* y *Figura VI-70.*

- Foto 3:

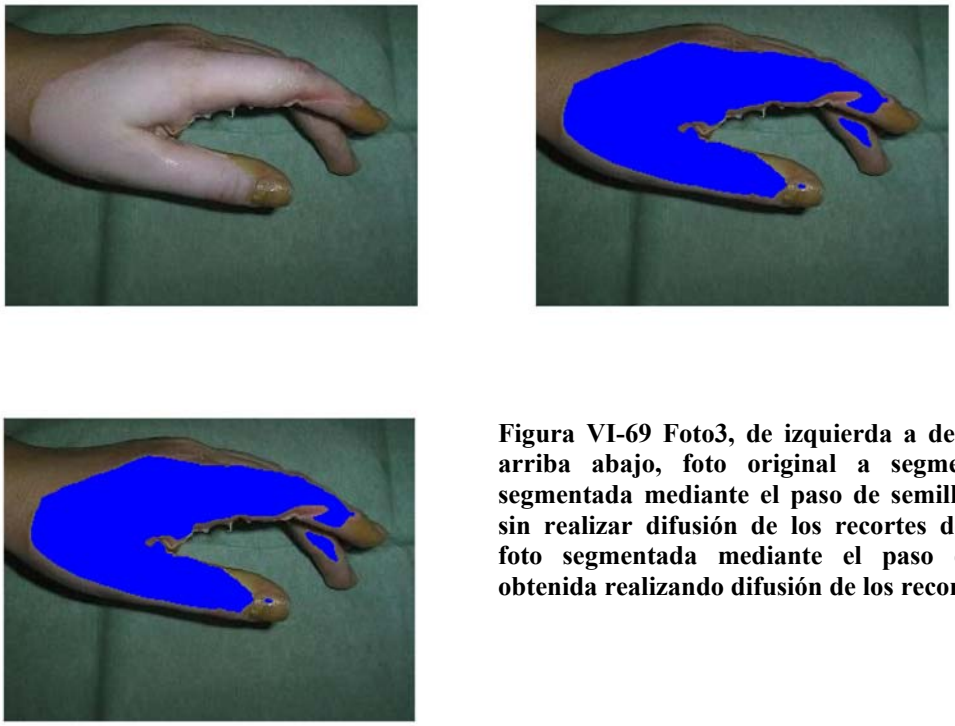

Figura VI-69 Foto3, de izquierda a derecha y de arriba abajo, foto original a segmentar, foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida sin realizar difusión de los recortes del banco y foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida realizando difusión de los recortes.

- Foto 4:

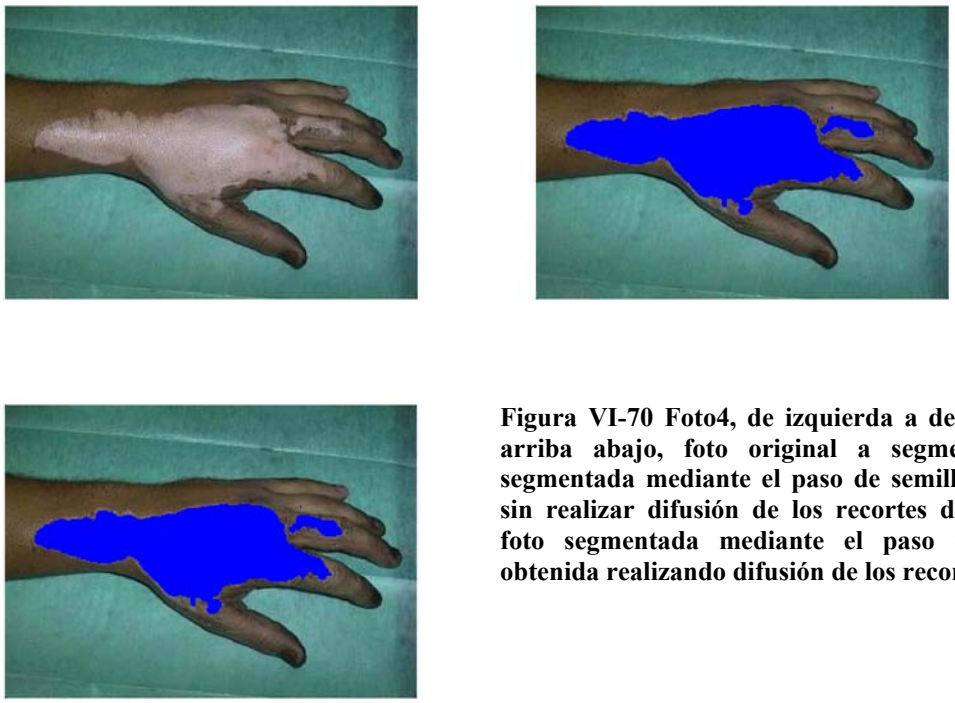

Figura VI-70 Foto4, de izquierda a derecha y de arriba abajo, foto original a segmentar, foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida sin realizar difusión de los recortes del banco y foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida realizando difusión de los recortes.

3º grado

Las imágenes segmentadas se muestran en la *Figura VI-71* y *Figura VI-72*.

- Foto 5:

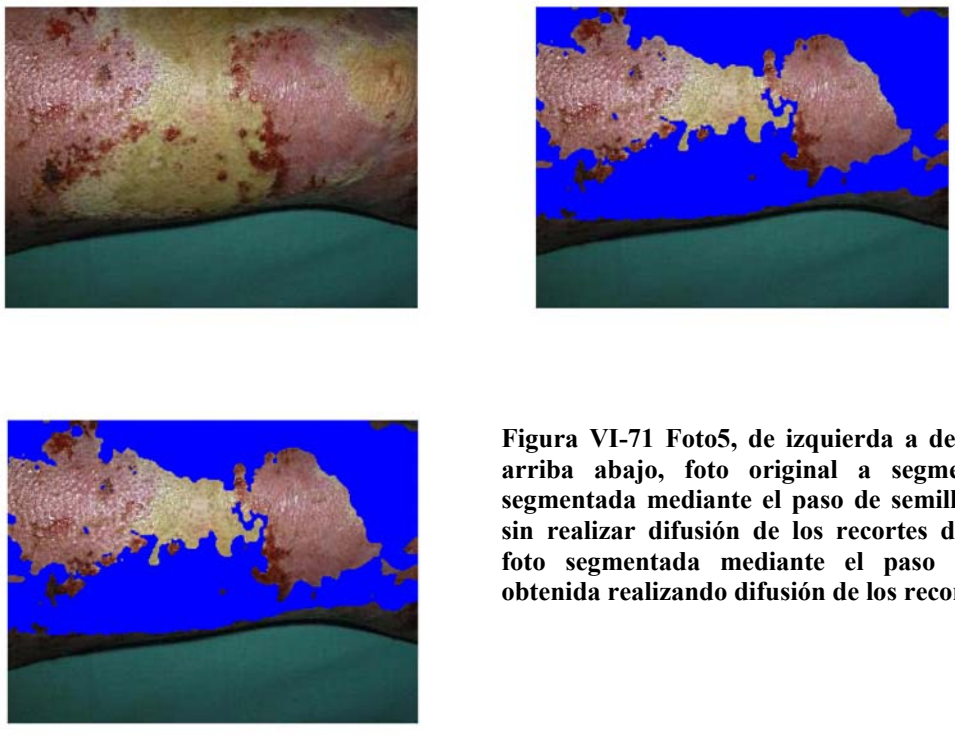

Figura VI-71 Foto5, de izquierda a derecha y de arriba abajo, foto original a segmentar, foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida sin realizar difusión de los recortes del banco y foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida realizando difusión de los recortes.

- Foto 6:

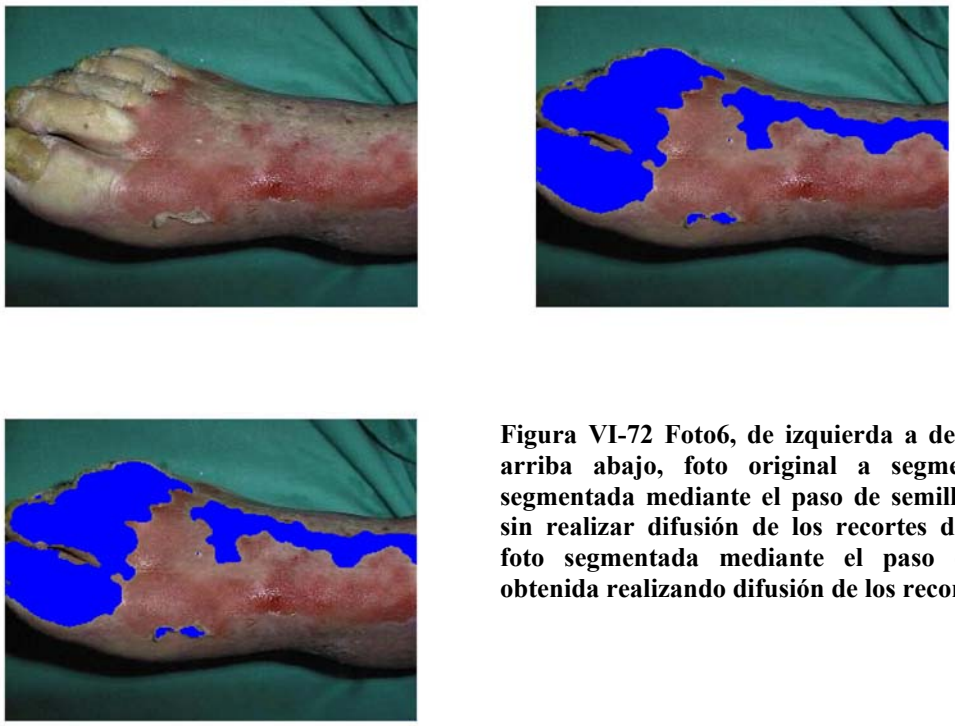

Figura VI-72 Foto6, de izquierda a derecha y de arriba abajo, foto original a segmentar, foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida sin realizar difusión de los recortes del banco y foto segmentada mediante el paso de semilla obtenida realizando difusión de los recortes.

6.3.7.2.1. Discusión de los resultados utilizando el algoritmo de Distancias con sustitución del recorte por una semilla

Aplicando el algoritmo de Distancias con la utilización de una semilla no obtenemos buenos resultados en todos los casos. Al contrario que utilizando el algoritmo de Von Mises, con el algoritmo de Distancias algunas de las fotografías analizadas no aportan buenos resultados. Sobretodo son las quemaduras de 2º grado superficial las que peores resultados ofrecen, reconociéndose en algunas grandes zonas de la imagen que no son realmente quemaduras. Sin embargo, sobre las quemaduras de 3º grado y sobretodo las de 2º grado profundo la segmentación es bastante correcta.

Que este algoritmo produzca buenas segmentaciones en algunos casos y no tan buenas en otros es producto de la automatización. Es cierto que al no tener que realizar el usuario el recorte de la zona que desea segmentar se gana un parámetro que deberemos ajustar, pero al no depender el umbral que se utiliza de la imagen en cuestión puede producir segmentaciones no deseadas como ocurre por ejemplo con las quemaduras de 2º grado superficial en este estudio (foto1 y foto2).

Como se ha comentado en apartados precedentes, en este estudio preliminar sobre el comportamiento de la segmentación utilizando una semilla media de un banco de recortes es necesario conocer el grado de la quemadura para calcular dicha semilla, esto debe ser mejorado en estudios posteriores, con objeto de poder automatizar completamente el proceso de segmentación.

6.4. Resumen

En este capítulo se han presentado los resultados obtenidos con cada uno de los algoritmos estudiados, todos ellos basados en uno de los algoritmos presentados en la tesis doctoral [Acha, 2002], aplicando sobre ellos algunas modificaciones o introduciendo métodos nuevos, por ejemplo de umbralización automática.

Son doce las modificaciones introducidas, para cada una de ellas se ha hecho una breve introducción sobre la misma y se han presentado los resultados obtenidos aplicándolos a las seis fotografías objeto de este estudio. Al final de cada uno de los apartados se hace una discusión de los resultados obtenidos, valorando la modificación introducida.

Sobre el *Algoritmo de Distancias* se han aplicado las siguientes modificaciones:

- Alteración del orden en el que se realiza la difusión. En este caso se calcula primero la imagen de distancias y sobre ella se realiza la difusión
- Aplicación de umbralización automática por el método de Otsu
- Aplicación de umbralización automática por el método de búsqueda de picos en el histograma de la imagen de un solo plano
- Múltiple segmentación
- Sustitución del recorte por una semilla, media de un banco de recortes

Sobre el *Algoritmo de Textura* se han aplicado las siguientes modificaciones:

- Aplicación de umbralización automática por el método de búsqueda de picos en el histograma de la imagen de un solo plano

Sobre el *Algoritmo de Von Mises* se han aplicado las siguientes modificaciones:

- Introducción de la información de luminosidad
- Alteración de los factores de ponderación
- Aplicación de umbralización automática por el método de búsqueda de picos en el histograma de la imagen de un solo plano
- Aplicación de umbralización automática por el método de búsqueda de picos en el histograma de la imagen de un solo plano con introducción de la información de luminosidad
- Múltiple segmentación
- Sustitución del recorte por una semilla, media de un banco de recortes

El siguiente capítulo está dedicado a las conclusiones y líneas futuras de investigación que se proponen como continuación de este trabajo.