



Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.

CIMAT

Valoración del área de la herida del pie diabético

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Ingeniería de Software

Presenta

Martha Magdalena Mena Arellanos

Director de Tesis

Carlos Alberto Lara Álvarez

Zacatecas, Zacatecas., Diciembre de 2016

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que me apoyaron durante la maestría, en especial al CONACyT por el apoyo financiero a lo largo de la Maestría.

A CIMAT Guanajuato con especial reconocimiento a la Dra. Graciela, a Paty Juárez y a todo el comité encargado de la Convocatoria del Emprendimiento CIMAT-2015 por el apoyo, seminarios, cursos y atenciones durante el desarrollo del proyecto, mil gracias. Gracias al Ing. Camacho del IMPI de León, Guanajuato por su paciencia, asesoría y tiempo.

También quiero agradecer a Alejandro García por su recomendación para entrar a la Maestría, al Dr. Lemus, Dr. Carlos Lara, M. en C. José Hernández, M.T.F. Lorena Barba, y a todo el equipo de CIMAT, Zacatecas.

Un agradecimiento muy especial a mi familia y amigos, en particular a mi madre por la paciencia y apoyo incondicional.

A todos ellos, ¡muchas gracias!

Resumen

Se estima que en 2013 aproximadamente 382 millones de personas tenían diabetes que equivale al 8.3% de la población mundial. Para el año 2030, se espera que la población global aumente a más 552 millones que representaría el 9,9% de la población adulta. Las complicaciones del pie son de las más graves y costosas entre todas las de la diabetes mellitus. La amputación de toda o una parte de una extremidad inferior se lleva a cabo normalmente tras la aparición de una úlcera de pie, se estima que cada 20 segundos alguna persona en el mundo pierde una extremidad inferior a causa de la diabetes.

En esta tesis se aborda el problema de la valoración no invasiva de la herida del pie diabético por medio de la estimación del tamaño de la herida en tiempo real al utilizar cámaras convencionales para la prevención de infecciones y amputaciones. Con el fin de resolver el problema de la segmentación de la herida es necesario distinguir la herida de la piel sana en condiciones de iluminación no controlada.

El enfoque propuesto genera un modelo del tono de piel en tiempo real, lo que permite la adaptación a una diversidad de tonos de piel y condiciones de iluminación. Este problema se resuelve tradicionalmente con el aprendizaje de un modelo de piel a partir de un conjunto de datos previos. La propuesta hace uso de una técnica de segmentación interactiva y el cálculo de una Mezcla de Gaussianas Multivariantes del tono de piel para distinguir la herida de la piel sana, esto proporciona una solución robusta.

Para probar la técnica propuesta, se realizó un experimento en la Clínica de Heridas del Centro de Salud de Guadalupe, Zacatecas, con el Dr. Eduardo Sifuentes Carlos. El algoritmo se implementó en un iPhone 6 donde se probó con la base de datos del 2015 a la fecha y se obtuvo una precisión de 0.9248 y una exhaustividad de 0.8465.

Palabras clave: segmentación, algoritmo, distribución multivariante, detección de contorno, segmentación interactiva, modelo de piel, no invasivo.

Tabla de Contenido

Capítulo 1.Introducción.....	1
1.1.Contexto.....	1
1.1.1.Fisiopatología de las úlceras de pie diabético.....	3
1.1.2.Sistemas de clasificación de las úlceras.....	4
1.1.3.Sistemas no invasivos de medición de úlceras en pie diabético.....	5
1.2.Objetivos.....	7
1.2.1.Objetivo general.....	7
1.2.2.Objetivos específicos.....	7
1.3.Preguntas de investigación.....	7
1.4.Alcance y limitaciones.....	8
1.5.Enfoque propuesto.....	8
1.6.Estructura de la tesis.....	9
Capítulo 2.Revisión Literaria.....	10
2.1.Desarrollos similares.....	10
2.1.1.Sistema de evaluación de la herida basado en un teléfono inteligente para pacientes con diabetes.....	10
2.1.2.Sistema de telemedicina inteligente para la detección de complicaciones del pie diabético.....	14
2.1.3.Healogram (Parablehealth).....	19
2.2.Áreas de oportunidad.....	21
Capítulo 3.Marco teórico.....	23
3.1.Segmentación de heridas.....	23
3.2.Técnicas utilizadas en la segmentación.....	24
3.2.1.Algoritmo de desplazamiento.....	24
3.2.2.Otsu.....	25
3.2.3.Trazo de contorno.....	26
3.2.4.Flood fill.....	27
3.2.5.Distribución normal multivariante.....	28
3.3.Segmentación interactiva.....	29
3.4.Determinación de profundidad.....	30

3.4.1.Reconstrucción 3D.....	30
3.4.2.Tecnología termográfica.....	31
Capítulo 4.Propuesta.....	34
4.1.Aplicación para capturar el área de la herida según el experto.....	34
4.1.1.Características.....	34
4.2.Aplicación para estimar el área mediante el algoritmo.....	35
4.2.1.Características.....	36
4.3.Algoritmo.....	37
4.4.Experimento.....	42
4.4.1.Diseño del experimento.....	42
4.4.2.Métricas del experimento.....	43
4.5.Resultados.....	44
Capítulo 5.Conclusiones y trabajo a futuro.....	47
5.1.Análisis de la competencia.....	47
5.2.Conclusiones.....	49
5.3.Trabajo a futuro.....	49
Referencias.....	50
Anexos.....	52
Anexo 1. Código.....	52
Algoritmo de despazamiento.....	52
Otsu.....	53
Trazo de contorno.....	55
Flood fill.....	59
Distribución normal multivariante.....	61
Anexo 2. Trámite de patentes.....	62
2.1. Documentos básicos para la presentación de las solicitudes.....	62
2.2. Tiempo aproximado del trámite.....	63
2.3. Lo que no se puede patentar.....	63
2.3. Tips.....	64

Índice de figuras

1. Estructura de la tesis.....	9
2. Vista exterior de la caja para la adquisición de imágenes.....	10
3. Estructura interna del arreglo de espejos propuesta para controlar la iluminación.....	11
4. Región del pie, área de la herida detectada y análisis de color de la herida.....	12
5. Ejemplo de la valoración por colores del área de la herida del pie diabético.....	13
6. Estructura gráfica y física del sistema.....	14
7. Aspecto visual y termográfico de las plantas del pie.....	15
8. Ejemplo de un modelo 3D generado por el arreglo de cámaras par-estero.....	15
9. Estructura interna del Sistema.....	16
10. Arreglo de cámaras de 3x3 para generación del modelo 3D	16
11. Iluminación utilizando ocho arreglos de iluminación para un mismo paciente.....	17
12. Aplicación Healogram en uso.....	19
13. Técnica de desplazamiento.....	24
14. Método de Otsu.....	25
15. Trazo de contorno.....	26
16. Técnica de llenado.....	28
17. Cámara IR Flir modelo A325sc.....	32
18. Imagen termográfica de una cámara FLIR modelo A325sc.....	33
19. Aplicación para captura de puntos.....	35
20. Aplicación para comparación de área.....	36
21. Diagrama de secuencia de los pasos a seguir del algoritmo propuesto.....	37
22. Área de interés y piel sana.....	38
23. Imagen de probabilidades resultado de aplicar la distribución normal multivariante.....	39

24. Resultado del método de Otsu.....	39
25. Agrupamiento seleccionado.....	40
26. Flood fill en el agrupamiento de mayor tamaño seleccionado.....	40
27. Ejemplo del trazo de contorno de lo que es herida según el algoritmo propuesto.....	41

Índice de tablas

1. Principales características del sistema de valoración de herida por teléfono inteligente.....	11
2. Ventajas y desventajas del sistema de valoración de herida por teléfono inteligente.....	13
3. Principales características del Sistema de Telemedicina.....	18
4. Ventajas y desventajas del Sistema de Telemedicina.....	18
5. Principales características de Healogram.....	20
6. Ventajas y desventajas de Healogram.....	21
7. Tabla de comparación de herramienta.....	22
8. Precisión y exhaustividad.....	43
9. Segmentación de las imágenes de la herida del pie diabético.....	44
10. Comparación de herramientas.....	48

Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se verán los tipos, las causas y consecuencias de la diabetes en México y en el mundo, el problema del pie diabético, la clasificación de úlceras, la definición del problema y la estructura de la tesis.

1.1. Contexto

La diabetes es una afección crónica que se desencadena cuando el organismo pierde su capacidad de producir o utilizar insulina. La insulina es una hormona que se fabrica en el páncreas y que permite que la glucosa de los alimentos pase a las células del organismo, en donde se convierte en energía para que funcionen los músculos y los tejidos.

Una persona con diabetes no absorbe la glucosa adecuadamente, de modo que ésta queda en circulación en la sangre (hiperglucemia) y daña los tejidos con el paso del tiempo. Este deterioro causa complicaciones para la salud potencialmente letales. Existen dos tipos principales de diabetes:

- Diabetes tipo 1 : causada por una reacción auto-inmune, en la que el sistema de defensas del organismo ataca las células productoras de insulina del páncreas. Sin insulina, una persona con diabetes tipo 1 morirá.
- Diabetes tipo 2 : es el tipo más común de diabetes (90%). Suele aparecer en adultos, pero cada vez más hay más casos de niños y adolescentes. El organismo puede producir insulina pero, o bien no es suficiente, o el organismo no responde a sus efectos, esto provoca una acumulación de glucosa en la sangre. Las personas podrían pasar mucho tiempo sin saber de su enfermedad debido a que los síntomas podrían tardar años en aparecer, tiempo durante el

cual el organismo se deteriora debido al exceso de glucosa en sangre.

A muchas personas se les diagnostica diabetes tan sólo cuando las complicaciones se hacen presentes (enfermedad cardiovascular, ceguera, insuficiencia renal y amputación de extremidades inferiores).

- Diabetes Mellitus Gestacional (DMG): se diagnostica diabetes por primera vez durante el embarazo. Suele presentarse en una etapa avanzada y surge debido a que el organismo no puede producir ni utilizar la insulina necesaria para la gestación. La diabetes gestacional de la madre suele desaparecer tras el parto; sin embargo, las mujeres que han tenido DMG corren un mayor riesgo de desarrollar diabetes tipo 2 con el paso del tiempo. Los bebés nacidos de madres con DMG también corren un mayor riesgo de obesidad y de desarrollar diabetes tipo 2 en la edad adulta (World Health Organization, 2004).

La hiperglucemia crónica (niveles elevados de glucosa en la sangre) por lo general se asocia con el daño a largo plazo para el cuerpo y el mal funcionamiento de diversos órganos y tejidos. Las personas con diabetes tienen un riesgo de daño a los nervios (neuropatía) y problemas con el suministro de sangre a sus pies (isquemia).

El daño del nervio resulta en una disminución de la capacidad de sentir dolor y lesiones a menudo pasan desapercibidas. La isquemia puede disminuir la cicatrización de la herida. Tanto la neuropatía y la isquemia pueden producir úlceras del pie, donde las infecciones en estas heridas en última instancia pueden conducir a la amputación. Se estima que las úlceras del pie diabético ocurren en hasta el 25% de los pacientes.

A continuación se presentan algunos datos importantes de la diabetes en México:

1. En el 2012 la ENSANUT (Encuesta Nacional de Salud y Nutrición) identificó a 6.4 millones de adultos mexicanos con diabetes que representa el 9.17% de los adultos en México (ENSANUT, 2016).

2. Para 2012 se destinaron más de 4 524 millones para la diabetes 15% más que en el 2011 (Hernández y Gutiérrez 2013).

Diabetes en el Mundo:

1. Se estima que para el 2025 la población mundial con diabetes será de 5.4%.
2. Los países con el mayor número de personas con diabetes son India, China y U.S.A. (King y Aubert 1998).
3. El en año 2000 había aproximadamente 171 millones de personas en el mundo con diabetes.
4. El número de personas con diabetes para el 2030 será de 366 millones de personas (World Health Organization, 2004).

En el año 2000 había aproximadamente 171 millones de personas y se estima que para el 2025 la población mundial con diabetes será de 5.4%. Sin embargo, en el 2012 la ENSANUT identificó a 6.4 millones de adultos mexicanos con diabetes que representa el 9.17% de los adultos en México, cifra superior al pronóstico mundial. En México, en el año 2012 se destinaron más de 4 524 millones para el tratamiento de la diabetes, 15% más que en el 2011.

1.1.1. Fisiopatología de las úlceras de pie diabético

La diabetes se origina generalmente por una disminución en la capacidad de producción de insulina por parte del páncreas, además de una resistencia generalizada de los tejidos a la acción de la insulina; esto puede ser debido a varios factores que permiten la clasificación de la diabetes según su etiología.

Aunque aún estamos lejos de comprender los mecanismos subyacentes a la inmunodeficiencia en los pacientes con diabetes, sabemos que estas ocurren y vuelven a este estrato poblacional un blanco fácil del ataque de los microorganismos. Este hecho se pone de manifiesto en los pacientes con diabetes cuando presentan ulceraciones en los pies, ya que se sabe que estas infecciones son causadas principalmente por MRSA (*Methicilin Resistant Staphylococcus a Aureus* por sus siglas en ingles), una bacteria que normalmente forman parte de la flora bacteriana de la piel (Breen, 1995).

Debido a que el sistema inmune de estos pacientes no es capaz de controlar el crecimiento bacteriano, estas infecciones llevan a los pacientes a sufrir graves complicaciones que como ya se mencionó anteriormente, suelen terminar en amputaciones de las extremidades de los pacientes.

Entre los factores que predisponen a los pacientes diabéticos a las infecciones en los pies se encuentran varios trastornos inmunológicos como afectaciones en la migración de leucocitos polimorfonucleares, la fagocitosis, la destrucción intracelular de microorganismos y la quimiotaxis.

La aparición de estos defectos en la inmunidad parecen estar asociados, al menos en parte con el adecuado control de la glucemia y la cetosis, que parece estar asociada a la disminución en la actividad de algunas poblaciones de leucocitos.

Además de las graves infecciones de las úlceras, existen otros factores que contribuyen a que las lesiones en los pies de los pacientes con diabetes no sanen, como son: la disminución en la capacidad de cicatrización, así como afectaciones en el proceso de formación de vasos sanguíneos y en la formación y reparación de los epitelios dañados.

1.1.2. Sistemas de clasificación de las úlceras

Diversos sistemas de clasificación han sido desarrollados para tratar de clasificar las úlceras del pie diabético. El sistema de clasificación de Wagner que ha sido usado por más de 25 años, debido a la sencillez de dicha clasificación, cuenta con una escala de 6 niveles muy subjetiva que no toma en cuenta diversas variables que han sido asociadas con el riesgo de amputación (Armstrong, 2001).

Otras clasificaciones que toman en cuenta el grado de afectación de los tejidos subcutáneos y la severidad de la infección fueron propuestas después en la clasificación TUC (*Texas University Classification* de sus siglas en inglés), que categoriza mejor a los pacientes según su riesgo de amputación y complicaciones sistémicas (Oyibo, 2001).

Los nuevos sistemas de clasificación simplifican algunas variables en sus definiciones que resultan en una mala definición en la práctica clínica (Ince y Abbas,2008). Martinez y colaboradores (2010) diseñaron un sistema de clasificación nuevo que se basa en las variables de riesgo más frecuentemente asociadas al riesgo de amputación denominado SEWSS (*Saint Elián Wound Scoring System*, de sus siglas en inglés) y que ha sido validado en poblaciones afectadas por ulceraciones para el seguimiento de dichos pacientes, toma en cuenta la localización de la ulceración, el aspecto topográfico, el numero de zonas afectadas, la isquemia, la presencia de infección y severidad, edema, neuropatía, profundidad, área de la ulceración y la fase de curación.

1.1.3. Sistemas no invasivos de medición de úlceras en pie diabético

Existen diferentes sensores que se han usado para detectar problemas en el pie diabético: imágenes multiespectrales, termográficas y medición de la respuesta a la presión en la planta del pie. En general las imágenes de color requieren controlar las condiciones de captura de la imagen por lo que se han propuesto dispositivos adicionales para tal fin.

Las imágenes termográficas son útiles porque el cambio de la temperatura es un indicador importante de cambios en el flujo sanguíneo (como aumento o disminución de temperatura). El uso de imágenes termográficas ha demostrado ser útil para diagnosticar problemas en úlceras con pie diabético; por ejemplo, (Harding, 1998) demuestra que los pacientes experimentaron una diferencia de temperatura en la semana anterior a la ulceración; en sus experimentos esta diferencia era 4.8 veces mayor en el sitio de ulceración.

Armstrong (2007) usa el sensor FLIR SC305 para obtener imágenes de la planta del pie para evaluar pre-signos de ulceración; por último, la temperatura se incrementa alrededor de úlceras ya conformadas y en otras condiciones, como la osteomielitis.

Como se describió anteriormente el área de ulceración es un factor importante para evaluar el riesgo de amputación (Martinez, 2010). Es importante evaluar el área de la herida así como el área

alrededor de la herida ya que esta indica si existen complicaciones adicionales que pueden dificultar la cicatrización de la herida.

El método tradicional para hacer una valoración del área de la herida es mediante el uso de una regla flexible que se posiciona sobre la herida o a un costado de la herida para determinar el diámetro y hacer un cálculo aproximado, esto provoca valoraciones subjetivas además de tener consecuentes riesgos de contaminación e imprecisión en el diagnóstico.

Fotografiar digitalmente las úlceras del pie diabético en la primera consulta y posteriormente analizarlas para darle un seguimiento periódico y documentar la evolución de la herida resulta particularmente útil para determinar si la atención recibida es la adecuada.

En la actualidad los médicos y enfermeras son los encargados de evaluar el tamaño de la herida ya que el paciente no cuenta con las herramientas para hacerlo. Acudir a una valoración periódica implica generar una cita previa, tiempo de espera y gastos de transporte, a consecuencia de esto muchos pacientes no acuden a las curaciones e incrementan las posibilidades de infección y amputación.

Debido a que la evaluación visual no produce mediciones objetivas ni parámetros cuantificables, el seguimiento del proceso de curación de una herida a través de visitas consecutivas es una tarea difícil para los médicos y pacientes.

Una posible solución a estos problemas puede ser el uso de tecnología que emplea técnicas de análisis de imágenes. Al utilizar técnicas para determinar el área o la profundidad de la herida surgen varios inconvenientes como la complejidad y el costo de realizar dichas mediciones.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo de tesis consiste en obtener un algoritmo que estime el área de la lesión del pie diabético de una imagen a color, tomada en un ambiente de luz no controlada.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Analizar tres propuestas que existen para: determinar el área de la herida del pie diabético.
2. Evaluar las propuestas de medición del área de la herida del pie diabético.
3. Construir una aplicación para móviles para guardar el área de la herida determinada por el experto.
4. Construir una aplicación para móviles para comparar el área de la herida del pie diabético calculada con el área de la herida según el experto.
5. Analizar una muestra de imágenes de la herida del pie diabético y comparar el resultado obtenido por la herramienta con la valoración de un experto.

1.3. Preguntas de investigación

1. ¿Es posible determinar el área de la herida en ambientes de luz no controlada?
2. ¿Es posible segmentar el área de la herida en pacientes con distintas tonalidades de piel sin utilizar una muestra previa?

1.4. Alcance y limitaciones

El área estimada está representada en píxeles y las pruebas se realizaron en los dispositivos móviles con sistema operativo iOS 9 de la marca Apple. Debido a la gravedad de los pacientes recibidos en la clínica de heridas no fue posible realizar pruebas del algoritmo con estos pacientes por lo que se utilizó la base de datos del 2015 a la fecha de la clínica de heridas.

El algoritmo deberá ser funcional en diferentes condiciones de iluminación, en un ambiente de luz no controlada y en pacientes con diferentes tonalidades de piel sin la necesidad de conocer un modelo del tono de piel previo.

1.5. Enfoque propuesto

Hacer una valoración no invasiva para disminuir los riesgos de infección de la herida del pie diabético es una prioridad. Al tomar en cuenta que en la actualidad los teléfonos inteligentes están disponibles para la mayoría de las personas, donde el paciente o al menos un conocido del paciente cuenta con un teléfono inteligente, la determinación del área de la lesión del pie diabético mediante la captura de imágenes por la cámara del dispositivo móvil y la capacidad de procesamiento del dispositivo móvil permitiría al usuario hacer una valoración del área de la herida del pie diabético con mayor frecuencia y determinar en tiempo real la evolución de la lesión para tomar decisiones de cuando acudir al médico.

1.6. Estructura de la tesis

El resto de la tesis se estructura de la siguiente forma:



Figura 1. Estructura de la tesis

El capítulo 2, revisión literaria, comprende el análisis del estado del arte de la técnica, en particular tres propuestas que utilizan diferentes tecnologías. El capítulo 3, marco teórico, describe cada una de las técnicas utilizadas para la valoración del área. El capítulo 4, propuesta, muestra de manera detallada y en secuencia el proceso utilizado para realizar la valoración del área, también comprende los resultados obtenidos en el experimento donde se compara la propuesta con respecto a las tecnologías existentes. En el capítulo 5, conclusiones, se describen las conclusiones y el trabajo a futuro.

Capítulo 2. Revisión Literaria

En este capítulo se verán las propuestas de vanguardia y se analizará cada una de las características más importantes para conocer el área de oportunidad.

2.1. Desarrollos similares

2.1.1. Sistema de evaluación de la herida basado en un teléfono inteligente para pacientes con diabetes

(Wang, 2015) propone un sistema de análisis de imágenes de la lesión del pie implementado únicamente la cámara de un teléfono inteligente con sistema operativo Android. La imagen de la herida se captura con la cámara del teléfono inteligente con la ayuda de una caja de captura con espejos, el smartphone realiza la segmentación de la herida al aplicar varios algoritmos, el contorno del pie se determina en base al color de la piel y el límite de la herida se detecta al utilizar un método de detección de región conectada. La Tabla 1 describe las características del modelo propuesto (Wang, 2015). La Fig. 2 muestra la caja de soporte utilizada para la captura que controla la distancia y la iluminación.



Figura 2. Vista exterior de la caja para la adquisición de imágenes (Wang, 2015)

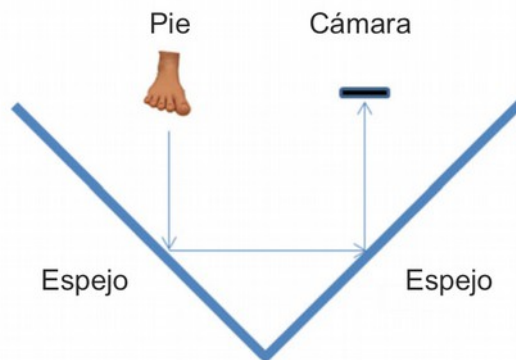


Figura 3. Estructura interna de la caja de adquisición de imágenes con un sistema de espejo propuesta para controlar la iluminación (Wang, 2015)

Como se muestra en la Fig. 3, la caja tiene una estructura que contiene dos espejos, los cuales reflejan la imagen de la planta del pie para que pueda ser capturada por el dispositivo móvil, en seguida se muestra el arreglo de los espejos dentro de la caja de captura.

El Sistema de Evaluación de la herida basado en un teléfono inteligente determina el tamaño de la herida en píxeles, donde la valoración de la herida es por regiones en tonos rojo, amarillo y negro. El Sistema está diseñado para funcionar en teléfonos inteligentes que cuentan con el sistema operativo Android con un tiempo de respuesta promedio de 15 segundos utilizando un teléfono Nexus 4 con imágenes de 816 por 612 píxeles, estas características se encuentran en la Tabla 1 que se presenta a continuación.

Tabla 1. Principales características del sistema valoración de herida por teléfono inteligente

Características
Determinación del tamaño de la herida en píxeles
Valoración del estado de la herida en tonos (rojo - amarillo - negro)
Diseñado para el sistema operativo Android
Tiempo de respuesta de 15 segundos corriendo en un Nexus 4 con imágenes de 816x612 píxeles
Iluminación controlada

Después de obtener la imagen mediante la caja de captura y el dispositivo móvil, a la imagen se le aplica un filtro Gaussiano para eliminar el ruido, posteriormente se segmenta la imagen para obtener la región del pie mediante la similitud de colores de piel de las regiones conectadas en la imagen. Finalmente se calcula la región que es considerada como herida, segmentándola por colores (rojo-amarillo-negro) que es la base del modelo de evaluación de la herida. En la Fig. 4 se observa un ejemplo gráfico del proceso paso a paso.

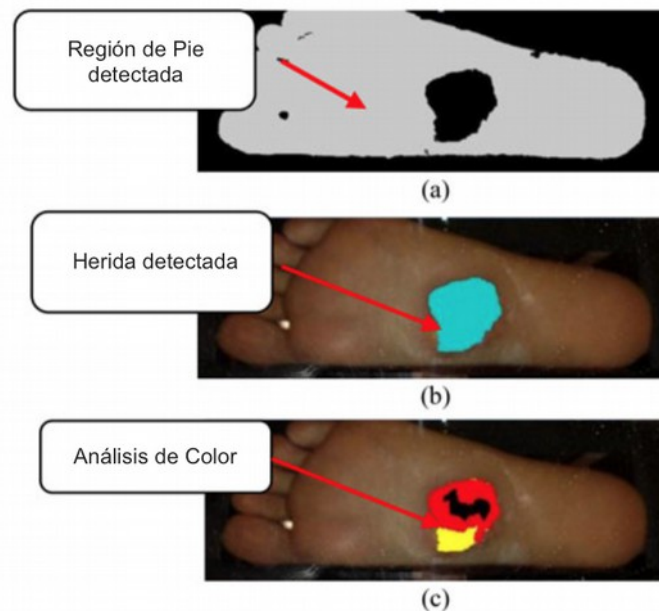


Figura 4. a) Región del pie detectada b) Región del área de la herida detectada c) Análisis de color de la herida del pie (Wang, 2015)

El estado de curación se evalúa cuantitativamente, al emplear un análisis de tendencias de los registros de tiempo para un paciente determinado donde las mediciones de tamaño tienen como unidad de medida el pixel.

La Tabla 2, describe las principales ventajas y desventajas del sistema. Algunos ejemplos de resultados se muestran en la Fig. 5.

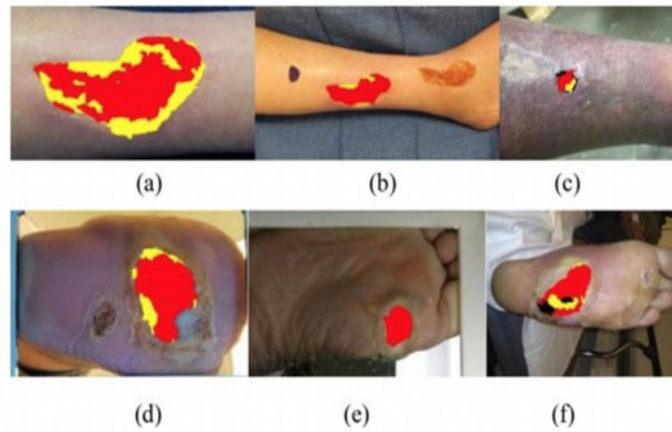


Figura 5. Ejemplo de la valoración por colores del área de la herida del pie diabético (Wang, 2015)

Tabla 2. Ventajas y desventajas del sistema valoración de herida por teléfono inteligente

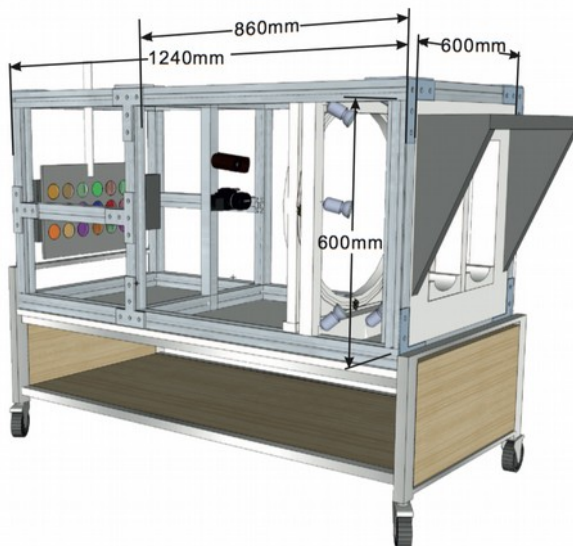
Ventajas	Desventajas
Bajo costo	Posible contaminación microbiana al utilizar la caja de captura
Funciona en móviles	Tiempo de respuesta
Iluminación controlada	El sistema no funciona si la herida se encuentra a la orilla del pie
	Solo para sistemas operativos Android
	Requiere de una caja con un arreglo de espejos para la adquisición de imágenes

2.1.2. Sistema de telemedicina inteligente para la detección de complicaciones del pie diabético

(Liu,2013) integra las modalidades de tres imágenes: imágenes espectrales, termografía infrarroja y una imagen estéreo fotométrica. Para la recolección de datos utilizaron imágenes de pacientes con alto riesgo de amputación y con presencia de complicaciones del pie diabético. Las mediciones y la recolección de datos se hicieron en el hospital (Ziekenhuisgroep Twente , Países Bajos) .

El sistema de telemedicina ocupa una estructura de 1.24 m x 0.6 m x 0.6 m donde se encuentran integradas las cámaras par-estéreo y la cámara termográfica. La Fig. 6 se muestra la representación gráfica de la estructura (a) y el sistema instalado de manera física en el hospital (b).

a)



b)

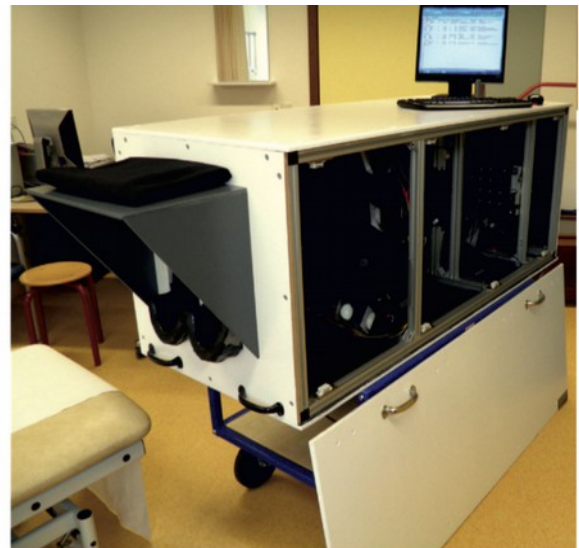


Figura 6. a) Estructura gráfica del sistema b) Estructura física del sistema (Liu,2013)

El sistema utiliza una cámara termográfica de la marca Flir, esta cámara detecta las variaciones de temperatura superficial de hasta 0.1 grados Centígrados, a continuación se muestra un ejemplo en la Fig. 7 de lo que la cámara termográfica obtiene (izquierda) en comparación de lo que la cámara DSLR común (derecha).

a)

b)

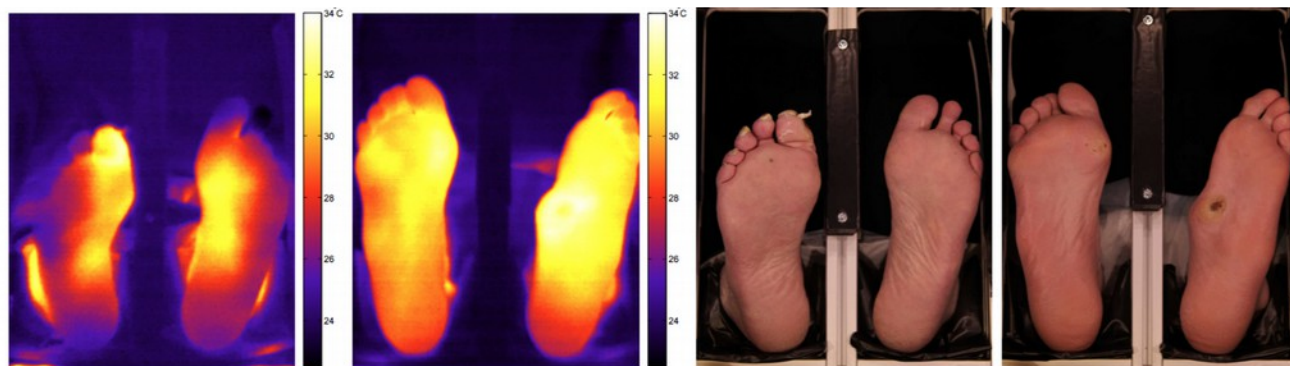


Figura 7. a) Diferencia de temperatura de las plantas del pie utilizando la cámara termográfica b) Aspecto visual de las plantas del pie utilizando la cámara DSLR (Liu,2013)

El arreglo de cámaras par-estero que se encuentran dentro de la estructura capturan varias imágenes 2D desde diferentes ángulos para poder recrear una imagen 3D del pie, en la Fig. 8 se muestra un ejemplo del modelo 3D generado por el sistema de telemedicina.

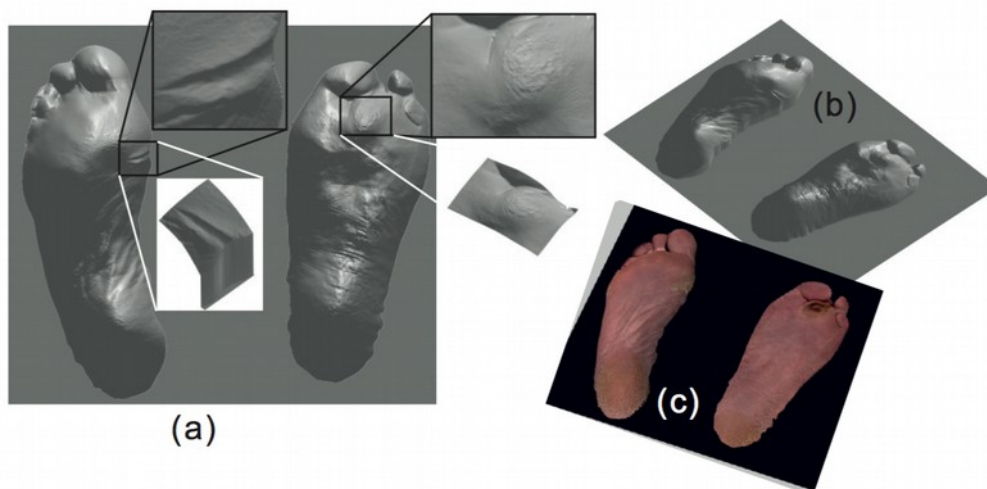


Figura 8. Ejemplo de un modelo 3D generado por el arreglo de cámaras par-estero (Liu,2013)

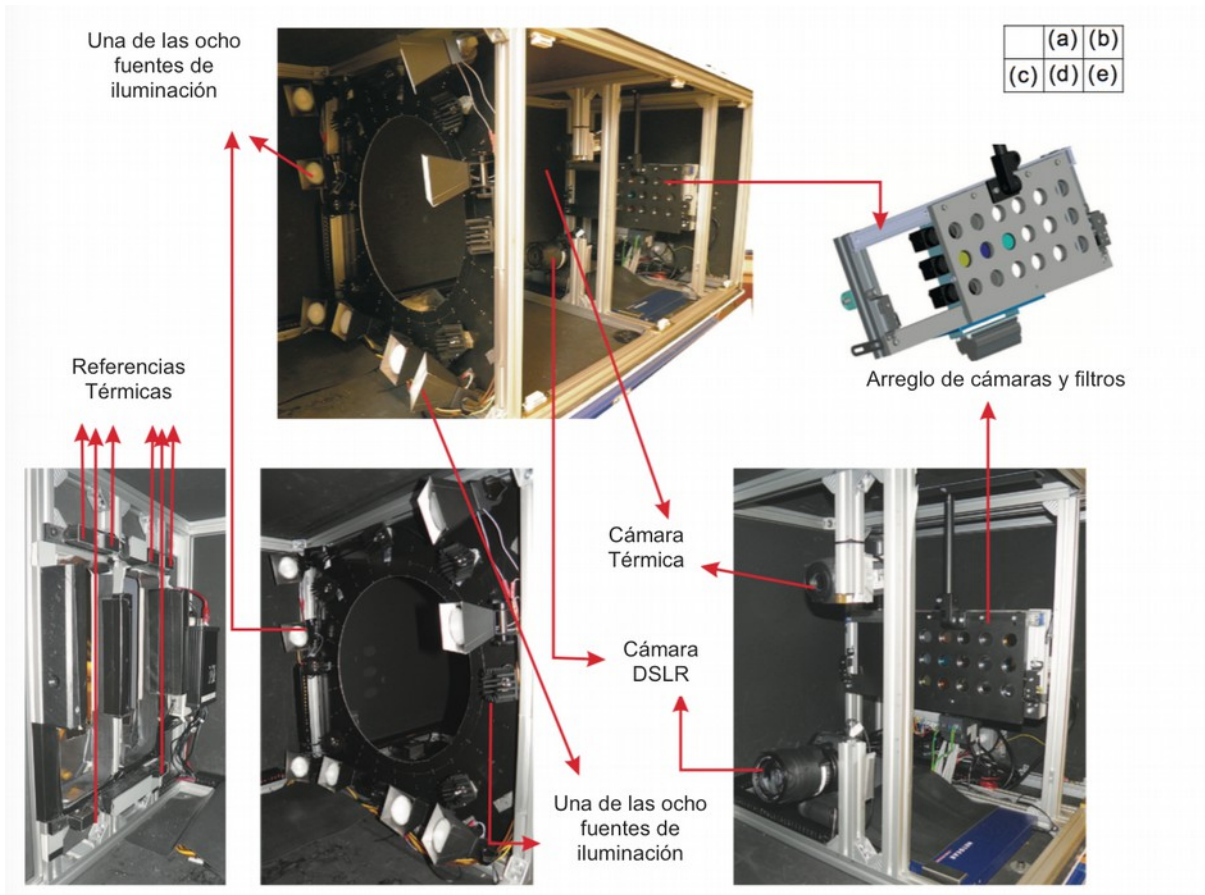


Figura 9. Estructura interna del Sistema a) Uno de los ocho componentes de iluminación b) Arreglo de cámaras con arreglo de filtros c) Referencias térmicas d) Uno de los ocho componentes de iluminación e) Camara digital RGB (Liu,2013)

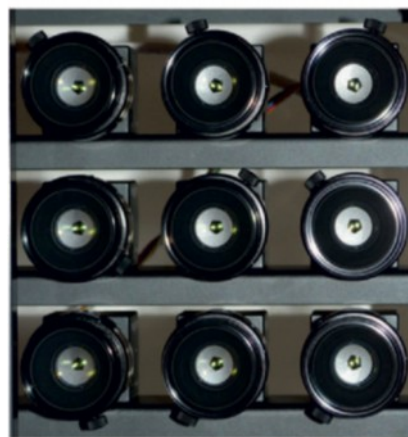


Figura 10. Arreglo de cámaras de 3x3 para la generación del modelo 3D (Liu,2013)

En la Fig. 9 podemos observar algunos de los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema de telemedicina que incluye una cámara DSLR con un sistema de color RGB, los ocho focos utilizados para iluminación, el arreglo de cámaras y filtros para la generación del modelo 3D y las estructuras que soportan todos estos componentes. Un ejemplo de la generación del modelo 3D utilizando el arreglo de cámaras se muestra en la Fig. 10 y en la Fig. 11 se muestra el resultado de utilizar diferentes arreglos de iluminación.

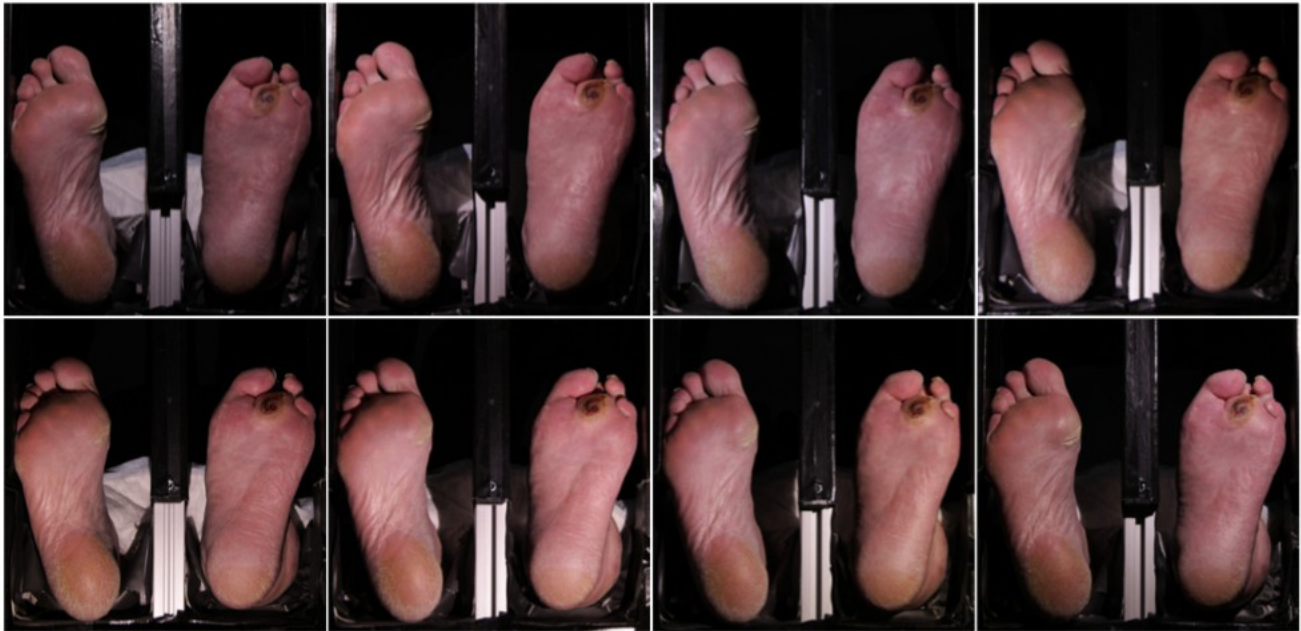


Figura 11. Iluminación utilizando ocho arreglos de iluminación para un mismo paciente (Liu,2013)

En la Tabla 3. se puede observar que la principal característica del sistema es que hace una valoración integral, genera un modelo 3D de la herida además de entregar una valoración térmica del estado de la herida, las ventajas y desventajas de utilizar este sistema se muestran en la Tabla 4.

Tabla 3. Principales características del Sistema de Telemedicina

Características
Determinación del tamaño de la herida en pixeles
Valoración de la herida de manera integral (termográfica, modelado 3D, espectral)
Procesamiento de imágenes mediante una computadora
Estructura de soporte para la cámara termográfica y las cámaras par-estero
Iluminación controlada (estructura cerrada)
Tiempo de adquisición de imágenes para el modelado 3D en 90 segundos
Requiere de personal especializado para el manejo del sistema
Tamaño de la imagen de 1600 x 1200 pixeles

Tabla 4. Ventajas y desventajas del Sistema de Telemedicina

Ventajas	Desventajas
Valoración termográfica de la herida	Costo arriba de los mil dólares
Generación de un modelo 3D del pie	Estructura fija
Iluminación controlada	Estructura de varios metros cuadrados
	Las cámaras requieren calibración
	El paciente no debe moverse al generar el modelo 3D (90 segundos)
	Requiere una base de datos para un entrenamiento previo
	Requiere de personal especializado para la operación del sistema
	Posible contaminación microbiana

2.1.3. Healogram (Parablehealth)

La aplicación está pensada para ser utilizada en dos escenarios. El primero - para centros de salud, hospitales y clínicas – sirve para mantener actualizados a los médicos con imágenes que eliminen la necesidad de los pacientes de trasladarse físicamente hasta las instalaciones. El segundo – para asistencia sanitaria en casa – sirve para que una enfermera o el mismo paciente tome fotos de la herida.

El área de superficie de la herida se calcula automáticamente al utilizar unas etiquetas desechables y técnicas de calibración y visión. Se muestra un holograma (en realidad una marca de agua) de la imagen original para guiar fotos posteriores y ver la evolución de la herida. Los pacientes son monitoreados a través de una aplicación, son evaluados por un experto que toma en cuenta el aspecto y dimensión de la herida. El diagnóstico y progreso se hace a través de un panel de control web.

En la Fig. 12 se muestra como se hace la valoración de la evolución de la herida mediante el uso de la técnica de marca de agua para comparar el estado anterior de la herida con el actual. La plataforma móvil permite a los pacientes obtener un diagnóstico de la herida desde cualquier lugar (que cuente con conexión a wifi o datos), esto ofrece comodidad y es una alternativa cuando el seguimiento presencial no es posible.

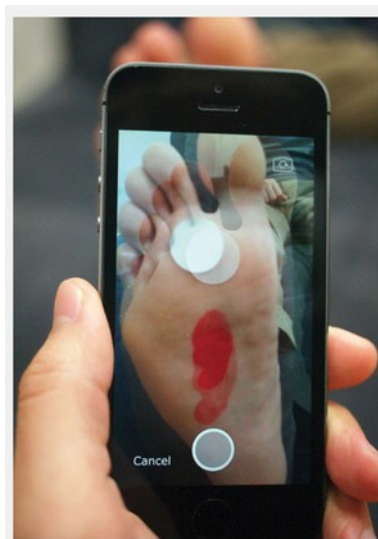


Figura 12. Aplicación Healogram en uso

La aplicación de Healogram determina el tamaño de la herida de manera subjetiva, ya que utiliza una calcomanía de tamaño estándar que se pega a un costado de la herida para utilizar como referencia y poder comparar con el tamaño de la herida. Se toma una fotografía de la herida y la calcomanía que se envía a través de la aplicación a un servidor donde un experto hace una valoración y manda la retroalimentación que no es en tiempo real. La aplicación tiene un costo mensual o anual dependiendo de las necesidades del usuario. En la Tabla 5 se encuentran las principales características de la aplicación.

Tabla 5. Principales características de Healogram

Características del Sistema
Determinación del tamaño de la herida subjetivo (calcomanía como referencia)
Procesamiento de imágenes en un servidor
Valoración del estado de la herida por un experto
Historial de la evolución de la herida
Valoración de diferentes tipos de herida (quemaduras, cicatrices, entre otras)
Suscripción mensual/anual
Utiliza la red de datos o wifi para el envío de imágenes al servidor

La aplicación de Healogram requiere de la red de datos o wifi para su funcionamiento, lo cual puede ser una limitante para regiones donde hay poca o nula señal, además de tener un costo adicional al utilizar los datos del celular. Las ventajas y desventajas de Healogram se muestran a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6. Ventajas y desventajas de Healogram

Ventajas	Desventajas
Valoración de la herida por un experto	Requiere wifi o datos para su funcionamiento
Historial de la evolución de la herida	Estimación subjetiva
Funciona para diferentes tipos de herida	Requiere una calcomanía como referencia
Aplicación para móviles	El tiempo de respuesta depende del experto que analiza la imagen y de cuando la analiza

2.2. Áreas de oportunidad

Como se muestra en la Tabla 7, al analizar los tres tipos de herramientas presentadas se puede observar que Healogram tiene la ventaja de hacer una valoración por medio de un experto y que funciona en plataformas móviles, las desventajas son utilizar una calcomanía como referencia del tamaño de la herida y que requiere de la red de datos o conexión wifi para su funcionamiento.

Por otra parte, la aplicación para teléfonos Android propuesta en *Smartphone-Based wound assessment* es de bajo costo, corre en dispositivos móviles pero requiere del uso de una caja con espejos para controlar la iluminación de la herida, solo funciona para sistemas operativos Android y los tiempos de respuesta son en promedio de 15 segundos.

Por último, podemos concluir que la herramienta que tiene utiliza el mayor número de técnicas para dar una valoración integral es el Sistema de Telemedicina Inteligente que arroja un modelo 3D de la herida e imágenes termográficas, la desventaja de utilizar este sistema es que requiere estar fijo, contar con una instalación de varios metros cuadrados, tiene un costo de varios miles de dólares y requiere de personal especializado tanto para la instalación como para su uso.

Al atacar las desventajas de cada una de las herramientas y combinar los factores positivos, se puede obtener una herramienta de bajo costo, con un tiempo de respuesta menor a lo propuesto, transportable y accesible tanto para las instituciones medicas, médicos particulares como los pacientes mismos.

Tabla 7. Tabla de comparación de herramientas

Características	Liu 2014	Wang 2011	Healogram 2014
Unidad de medida	Píxeles	Píxeles	No especifica
Costo	Alto	x	No especifica
Dimensiones	m3	móvil	móvil
Sistema operativo	múltiple	Android	múltiple
Red de datos o Wifi	No especifica	Opcional	Indispensable
Instalación	Presencial	Remota	Remota
Riesgos de contaminación	Posible	Posible	No
Iluminación controlada	Si	Si	No
Tipo de respuesta	No especifica	15 s	No especifica
Tamaño de la imagen	816x612	1600x1200	No especifica
Valoración por un experto	Si	No	Si
Valoración en tonalidades de la herida	Si	Si	No especifica
Calibración inicial	Si	No	No
Valoración termográfica	Si	No	No
Modelado 3D	Si	No	No
Mercado objetivo	Clínicas	Clínicas y pacientes	Clínicas y pacientes
Entrenamiento previo (data set)	Si	No	No especifica

Capítulo 3. Marco teórico

En este capítulo se mencionan y describen las técnicas de segmentación utilizadas y se mencionan algunas técnicas para determinar la profundidad de la herida.

3.1. Segmentación de heridas

Para poder realizar un análisis del área de una herida es necesario extraer la herida del resto de la imagen esto se hace mediante técnicas de agrupamiento y segmentación. Los métodos comúnmente utilizados son el análisis del color y textura de la herida, algoritmos evolutivos y la segmentación interactiva.

La agrupación o *clustering* en una imagen es el proceso de identificar grupos similares dentro de una región, la agrupación puede ser por píxeles o regiones. Muchas de las técnicas básicas de procesamiento de imágenes como la cuantificación, la segmentación y el engrosamiento se pueden ver como diferentes instancias del problema de agrupamiento. El objetivo de los algoritmos de agrupamiento es minimizar por ejemplo el error por lo que se puede ver como un problema de optimización.

Para facilitar la distinción entre lo que es una herida y lo que no es herida se utilizan algunos métodos generales para mejorar la imagen y exagerar la diferencia entre ambas. Por ejemplo si se utiliza un método para la identificación por color, la imagen se divide en secciones para analizar cada cuadro del perfil de color para la determinación del porcentaje de colores principales. A partir de esto se obtiene una distribución de lo que es la piel sana que puede ser utilizada como punto de referencia (Prodan, 2010).

Las distribuciones de los tonos de piel se comparan en términos estadísticos con esta distribución de línea de base para poder determinar los bordes de la herida, de esto se deriva la estimación del área de la herida (Wang, 2015).

3.2. Técnicas utilizadas en la segmentación

3.2.1. Algoritmo de desplazamiento

El algoritmo de desplazamiento o *mean-shift* es un algoritmo iterativo, para cada punto de datos el algoritmo define una ventana alrededor del punto donde se calcula la media de los puntos que se encuentran dentro, después se desplaza la ventana de la media y esto se repite hasta que el algoritmo converge. A continuación se muestra un ejemplo en una imagen y el resultado de la imagen después de aplicar el algoritmo de desplazamiento que comúnmente se conoce como un filtro para crear imágenes tipo poster.

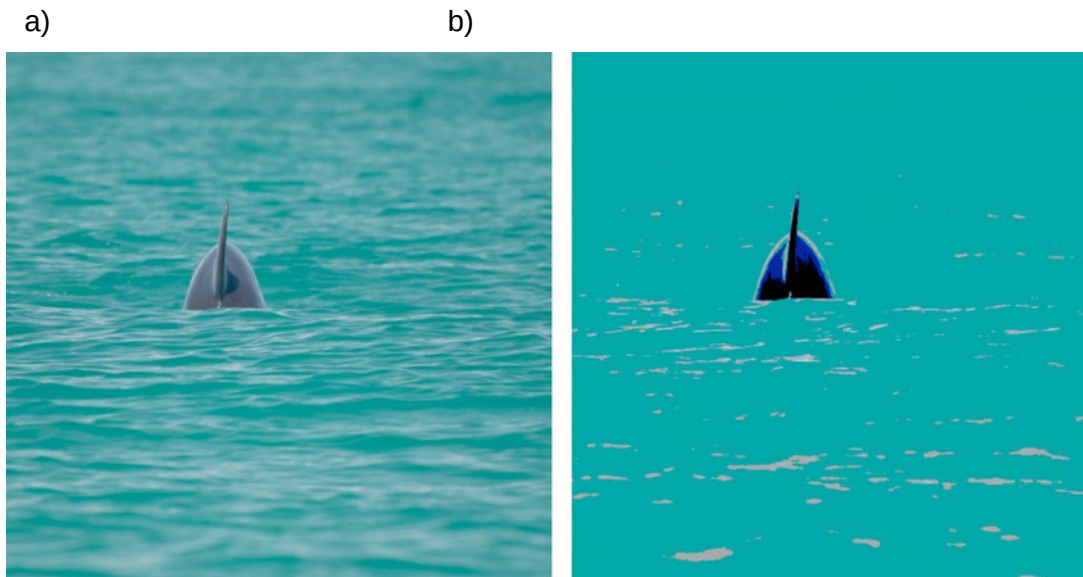


Figura 13. a) Imagen RGB b) Imagen resultado de aplicar el filtro de desplazamiento

3.2.2. Otsu

El método de Otsu asume que en la imagen solo existen dos clases de píxeles en base al histograma bimodal (píxeles en primer plano y los píxeles de fondo), se calcula el umbral óptimo que separa estas dos clases para generar una imagen únicamente con dos tipos de píxeles: blanco y negro.

A continuación se muestra el antes y después de aplicar el filtro de Otsu sobre una imagen en escala de grises.

a)



b)

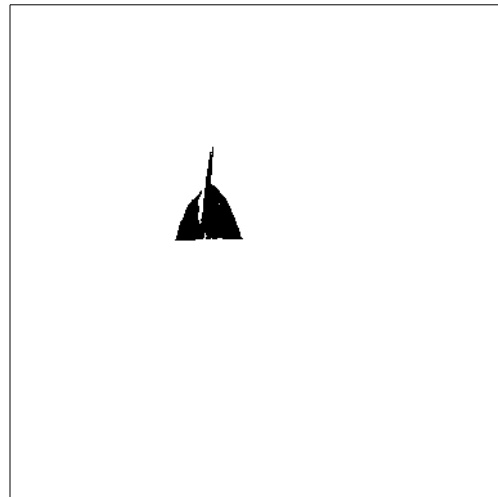


Figura 14. a) Imagen a escala de grises b) Resultado de aplicar el método de Otsu

El propósito del método de Otsu es calcular el valor umbral de forma que la dispersión dentro de cada tono sea lo más pequeña posible, pero al mismo tiempo la dispersión sea lo más alta posible entre tonos diferentes.

El método comprende los siguientes pasos:

1. Calcular el histograma normalizado de la imagen.
2. Calcular las sumas acumulativas de los píxeles.
3. Calcular las medias acumulativas.

4. Calcular la media global.
5. Calcular la varianza entre tonos.
5. Maximizar la varianza anterior.
6. Obtener la media de separabilidad, varianza de tonos entre la varianza global. (CEI, 2016)

3.2.3. Trazo de contorno

Puede ser visto como una técnica de segmentación que identifica los píxeles del contorno de una región. Los algoritmos de contorno como el algoritmo de Moore identifican un píxel de inicio (borde) y a partir de este se desplazan al rededor de la región para obtener todos los píxeles que forman parte del contorno. En la Fig. 15 se muestra un ejemplo del trazo de contorno sobre una imagen bimodal.

a)



b)



Figura 15. a) Imagen a blanco y negro b) Imagen resultado de aplicar el trazo de contorno

A continuación se describe el algoritmo.

Entrada: Una imagen **A** que contiene una agrupación de píxeles negros conectados **P**.

Salida: Una secuencia de píxeles de contorno **C**(c_1, c_2, \dots, c_n).

1. **C** no debe contener elementos.
 2. En **A** buscar de abajo hacia arriba y de izquierda a derecha hasta encontrar un píxel **x** de **P**.
 3. Agregar **x** a **A**.
 4. Establecer el píxel actual **p** como el píxel de inicio **x**.
 5. Girar a la izquierda y actualizar a **p** como el píxel izquierdo adyacente.
 6. Mientras que **p** no sea igual a **x** ir al paso 7.
 7. Si el píxel actual **p** es negro ir al paso 8 sino ir al paso 9.
 8. Agregar **p** a **B** y girar a la izquierda para actualizar el valor de **p**.
 9. Girar a la derecha y actualizar el valor de **p**.
- Regresar al paso 7 (Contour Tracing, 2016)

3.2.4. Flood fill

Llamado también llenado de semilla, es un algoritmo que determina el área conectada a un nodo en una matriz multidimensional. Un ejemplo donde se utiliza es en los programas de edición, la "cubeta" para llenar de un color una sección conectada.

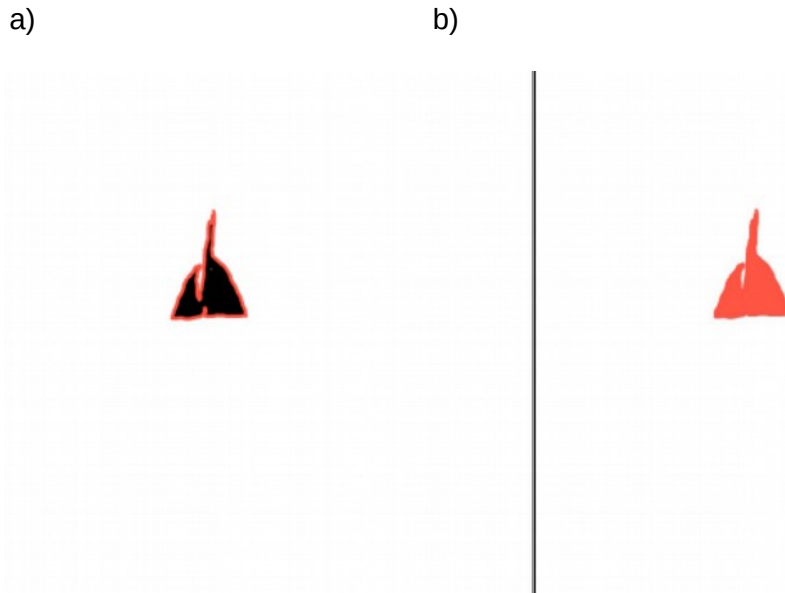


Figura 16. a) imagen a blanco y negro con trazo de contorno b) imagen resultado de aplicar el llenado

3.2.5. Distribución normal multivariante

En probabilidad y estadística la distribución multivariante o distribución normal Gaussiana multivariante es una generalización de la distribución normal y se utiliza a menudo para describir cualquier conjunto de variables aleatorias correlacionadas con valores reales, cada una de las cuales agrupa entorno a un valor medio.

La función de densidad de una distribución normal univariante (Departamento de Estadística, 2016) de parámetros μ y σ^2 , denotada por $N(\mu, \sigma^2)$, es:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad -\infty < x < \infty$$

Para definir la función de densidad de una distribución normal multivariante la idea es partir de la función de densidad univariante y sustituir las cantidades univariantes por multivariantes. Es decir:

$$f(x) = (1/\sqrt{2\pi\sigma^2}) \exp(-(x-\mu)^2/2\sigma^2) \quad -\infty < x < \infty$$

se convierte en:

$$f(x) = (2\pi^{-p/2}) \prod_{j=1}^p \sigma_j^{-1/2} \exp(-((x-\mu)_j)^2 / (2\sigma_j^2))$$

donde $-\infty < x_j < \infty$ para $j=1, \dots, p$.

3.3. Segmentación interactiva

La segmentación interactiva se refiere a la extracción interactiva de un objeto en primer plano de un entorno complejo, donde la extracción no puede hacerse de manera trivial. El objeto resultante refleja la proporción de primer plano y de fondo.

El objetivo es lograr un alto rendimiento a cambio de un esfuerzo interactivo modesto por parte del usuario. Al analizar el fondo en términos de color, textura o alguna característica en específico, resulta más sencillo realizar la segmentación para extraer el primer plano (Rother, 2004).

3.4. Determinación de profundidad

La profundidad de la herida es muy importante para determinar el estado de la herida del paciente, para poder determinarla de manera tradicional se utiliza un hisopo que se inserta en la herida, esto tiene consecuentes riesgos de contaminación.

La profundidad visible se puede determinar al hacer una reconstrucción 3D de la herida pero existe otro tipo de profundidad que tiene una relación con la temperatura corporal y la temperatura de la herida, esta profundidad se puede determinar al utilizar tecnología termográfica.

3.4.1. Reconstrucción 3D

Para obtener un modelo 3D a partir de cámaras existen varias técnicas, las más comunes son Structure from Motion y Multiview Stereo.

Structure from Motion de manera general se utiliza para obtener un modelo 3D a partir de imágenes 2D obtenidas de diferentes posiciones de la cámara provocados por un desplazamiento, donde se desplaza una cámara que captura imágenes continuamente para crear un modelo 3D del objeto de interés.

La técnica de Multiview Stereo utiliza un arreglo de múltiples cámaras par-estero que permiten hacer estimaciones de profundidad independientes para cada punto de vista de la cámara. Una estimación óptima se logra mediante la fusión de todas las estimaciones independientes en un modelo 3D común.

Lo más novedoso para hacer una reconstrucción 3D es una técnica llamada 3D Reconstruction from accidental motion, esta técnica hace una reconstrucción 3D a partir de los pequeños movimientos

causados de manera involuntaria al momento de tomar una foto, donde se producen mapas de profundidad a partir de secuencias de videos cortos de una cámara estándar sin necesidad de tener múltiples par-estero, sensores o movimientos intencionales (Yu, 2014).

3.4.2. Tecnología termográfica

La radiación infrarroja (IR) no puede ser detectada por el ojo humano, sin embargo una cámara infrarroja puede convertir la representación de las variaciones térmicas a una imagen visual a través de un objeto o escena. La radiación infrarroja cubre una parte del espectro electromagnético de aproximadamente 900 a 14.000 nanómetros (0.9-14 m). La radiación infrarroja es emitida por todos los objetos a temperaturas por encima del cero absoluto y la cantidad de radiación aumenta con la temperatura.

La termografía es un tipo de formación de imágenes que se realiza con una cámara IR calibrada para mostrar los valores de temperatura a través de un objeto o escena. Por lo tanto, la termografía permite hacer mediciones sin contacto de la temperatura de un objeto.

La construcción de una cámara IR es similar a una cámara de vídeo digital, los componentes principales son un lente IR que se centra sobre un detector, además de la electrónica y el software para el procesamiento y la visualización de las señales e imágenes. En lugar de un dispositivo de carga acoplada que las cámaras digitales y de vídeo fijas utilizan, el detector de la cámara de infrarrojos es una matriz de plano focal (FPA) de píxeles de tamaño micrométrico hechas de diversos materiales sensibles a longitudes de onda de rayos infrarrojos.

La tecnología de detectores (FPA) se divide en dos categorías: detectores térmicos y detectores cuánticos. Un tipo de detector térmico común es un microbolómetro no refrigerado hecho de un material metálico o semiconductor. Estos por lo general tienen un menor costo y una respuesta espectral IR más amplia que los detectores cuánticos. Aún así, microbolómetros reaccionan a la energía radiante incidente y son mucho más lentos y menos sensibles que los detectores cuánticos. En la Fig. 17 se muestra un ejemplo de un microbolómetro de la marca FLIR.



Figura 17. Cámaras IR Flir modelo A325sc con una resolución de pixeles de 320x240, rango espectral de 7.5 μm a 13.0 μm con un costo aproximado de £9,264

Los detectores cuánticos están hechos de materiales tales como InSb, InGaAs, PtSi, HgCdTe (MCT), y GaAs capas / AlGaAs. El funcionamiento de un detector cuántico se basa en el cambio de estado de los electrones en una estructura de cristal reaccionar a los fotones incidentes. Estos detectores son generalmente más rápidos y más sensibles que los detectores térmicos. Sin embargo, requieren refrigeración, a veces hasta temperaturas criogénicas usando nitrógeno líquido o una pequeña unidad de refrigeración de ciclo Stirling.

La tecnología de las cámaras termográficas en la actualidad se utiliza en la cacería para detectar animales camuflados con el paisaje tanto de día como de noche, en la navegación para detectar obstáculos o animales, en sistemas de seguridad para detectar intrusos, en la instalación de sistemas de calefacción para detectar fugas de calor, en sistemas automotrices para detectar desgastes, en circuitos eléctricos para detectar concentración de calor, y en la medicina para estimar profundidad en las lesiones en la piel (Flir, 2016).

Estudios clínicos de la temperatura de la planta del pie que utilizan un termómetro infrarrojo han demostrado que las evaluaciones frecuentes de temperatura y el tratamiento en caso de diferencias de temperatura mayores a 2.2 °C entre una zona del pie y de la misma región con el pie contra lateral puede prevenir las complicaciones del pie diabético.

También se ha demostrado clínicamente que la evaluación de la temperatura de la planta del pie no sólo es útil para la prevención de úlceras recurrentes y evolución de la cicatrización de la herida, también puede ser indicativo de neuropatía (Liu, 2013), en la Fig. 18 podemos observar un ejemplo de la imagen producida por la cámara termográfica en un paciente con pie diabético.

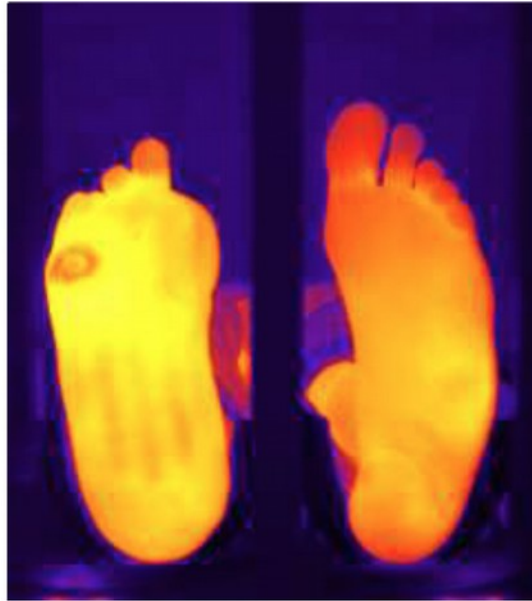


Figura 18. Imagen termográfica de una cámara FLIR modelo A325sc de un paciente con pie diabético

Capítulo 4. Propuesta

En este capítulo se describe la propuesta de segmentación de herida de pie diabético y se describe el experimento y resultados.

4.1. Aplicación para capturar el área de la herida según el experto

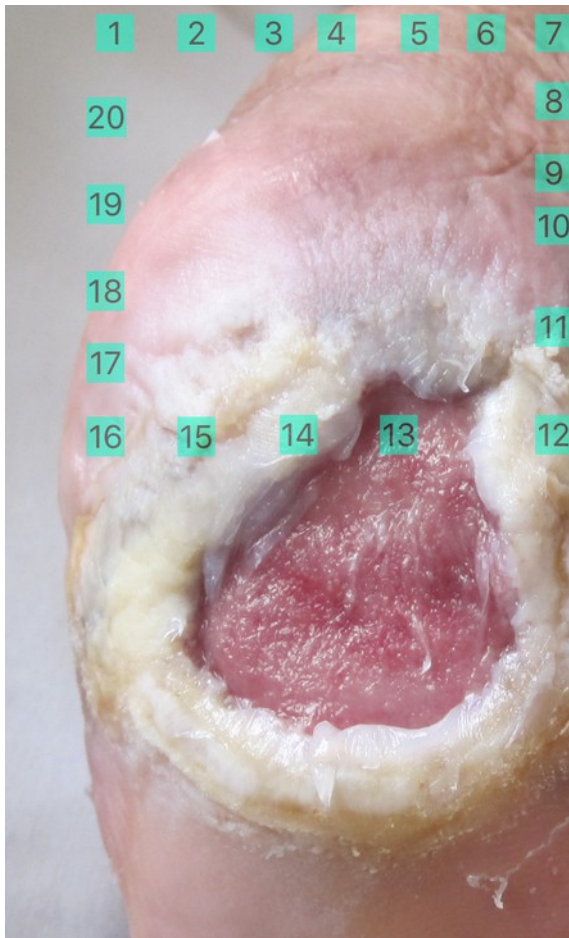
Para poder comparar la valoración de un experto con el algoritmo, se diseñó una aplicación móvil para almacenar los puntos que determinan el área de la herida según el experto.

4.1.1. Características

1. La aplicación cuenta con 20 puntos que se pueden mover para posicionarlos en el contorno de la herida, los puntos son los vértices de un polígono.
2. El polígono se dibuja con una marca de agua sobre la herida cada vez que un vértice se mueve para facilitar la valoración al experto al momento de hacer ajustes al área de la herida determinada.
3. La aplicación cuenta con dos botones principales, uno para cargar imágenes y otro para guardar los puntos del polígono.

En la Fig. 19 se pueden observar algunas de las características de la aplicación de manera gráfica, en a) es la vista inicial de la aplicación con la carga de los puntos para formar el polígono, en b) se observa como el polígono se va actualizando al momento de mover un vértice.

a)



b)

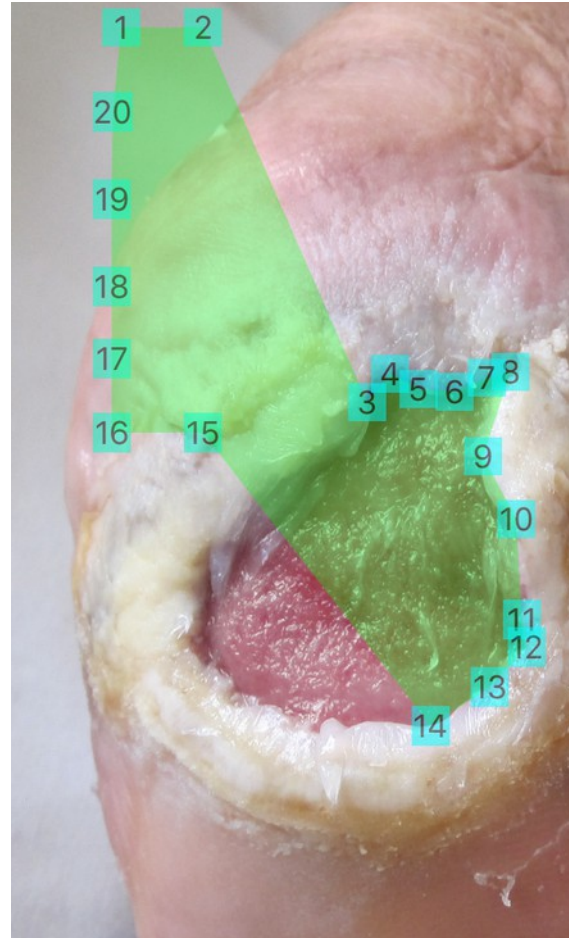


Figura 19. Aplicación para captura de puntos a) inicio de la aplicación b) generación del polígono con marca de agua sobre la herida

4.2. Aplicación para estimar el área mediante el algoritmo

Para poder comparar el área determinada por el experto se diseñó una aplicación móvil que comparara el área del polígono con el área encontrada por el algoritmo.

4.2.1. Características

1. La aplicación se carga previamente con los veinte puntos encontrados por el experto.
2. La aplicación dibuja un polígono utilizando como vértices los puntos encontrados por el experto.
3. La aplicación cuenta con dos recuadros traslúcidos que se pueden expandir vertical y horizontalmente.
4. El recuadro interno representa el área donde se encuentra la herida.
5. El recuadro externo representa el área que contiene la piel sana.
6. La aplicación compara el área encontrada por el experto y el área encontrada por el algoritmo

En la Fig. 20 se muestra la aplicación para comparar la valoración del área de la herida según el experto con la valoración del área según el algoritmo, en a) se puede observar el polígono en color verde, generado por los puntos almacenados por el experto, también se puede observar el recuadro traslucido utilizado para definir el área de la herida y la piel sana. En b) se observa el recuadro posicionado sobre la herida y se muestra el área encontrada por el experto, sobrepuesta con el área encontrada por el algoritmo.

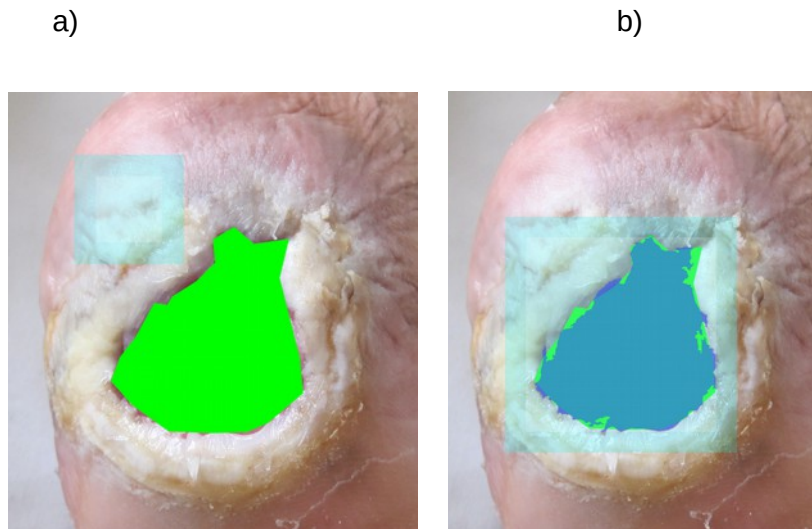


Figura 20. Aplicación para comparación de área a) inicio de la aplicación con polígono determinado por el experto b) comparación del área encontrada por el algoritmo y el área encontrada por el experto.

4.3. Algoritmo

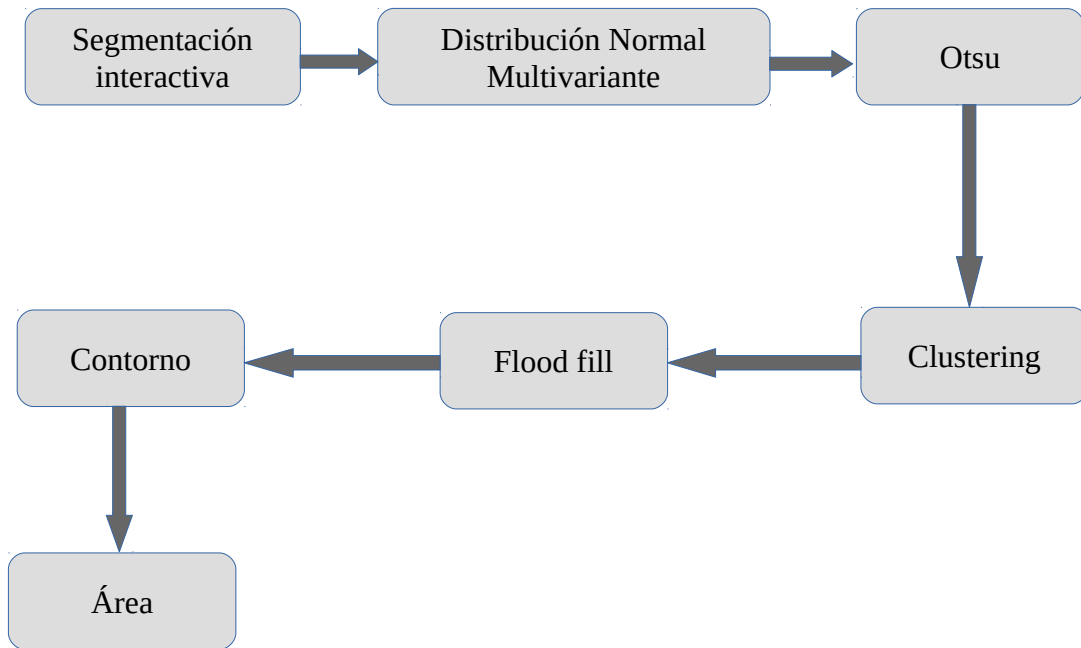


Figura 21. Diagrama de secuencia de los pasos a seguir del algoritmo propuesto

La imagen a segmentar se encuentra en un formato de color RGB (rojo, verde y azul), para el funcionamiento correcto del algoritmo la herida se debe encontrar en el recuadro interno y el área que es piel sana se debe encontrar en el recuadro externo, en la Fig. 22 se muestra un ejemplo.

La segmentación interactiva ocurre cuando el usuario selecciona el área de interés para delimitar lo que es herida y lo que no es herida. Utilizando los dedos de la mano, el usuario posiciona los recuadros para indicar en el recuadro interno el área donde se encuentra la herida y en el externo lo contiene piel sana.



Figura 22. Área de interés (cuadro interno) y el área donde se encuentra la piel sana (recuadro externo)

Al momento de dividir el área de interés en lo que es piel sana y lo que es herida se genera un modelo del tono la piel en tiempo real esto quiere decir que los datos en la parte externa del recuadro son los datos que se utilizan para determinar que es piel y que es herida dentro del recuadro interno, sin requerir una muestra previa de tonalidades de piel o un modelo de piel en específico.

El recuadro externo se divide en múltiples secciones por lo que cada sección se analiza para obtener una distribución Gaussiana, las distribuciones se mezclan para formar la distribución normal multivariante que se compara con la parte del recuadro interno, lo que produce una imagen de probabilidad como se muestra en la Fig. 23 a continuación.

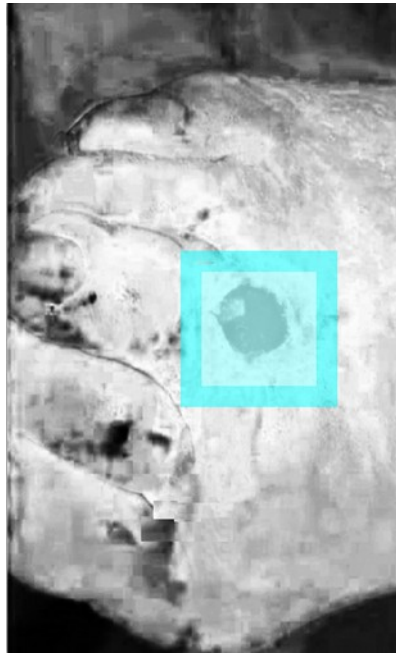


Figura 23. Imagen de probabilidades resultado de aplicar la distribución normal multivariante

La imagen de probabilidades puede verse como una imagen a escala de grises, donde la probabilidad que está representada de 0 a 1 equivale a un valor entre 0 y FF para cada pixel. Para convertir la sección de la imagen que se encuentra en el cuadro interno en una imagen binaria se utiliza el método de Otsu en la Fig. 24 se muestra un ejemplo del resultado de aplicar el método.



Figura 24. Resultado del método de Otsu aplicado a la sección interna del recuadro de la imagen de probabilidades

Debido a que las heridas generalmente contienen bordes e irregulares, al hacer la transformación mediante el método de Otsu se generan agrupamientos, en la Fig. 24 en el recuadro interno se pueden ver estos agrupamientos o *clusters*, por lo que es necesario seleccionar el agrupamiento que contenga el mayor número de píxeles, en la Fig. 25 se muestra el agrupamiento seleccionado.



Figura 25. El área marcada con verde es el agrupamiento seleccionado que contiene el mayor número de píxeles de todos los agrupamientos encontrados

Después de haber seleccionado el agrupamiento de mayor tamaño es necesario rellenar los espacios vacíos mediante la técnica de flood fill dentro del agrupamiento seleccionado para obtener un área uniforme como se muestra en la Fig. 26 a continuación.



Figura 26. Resultado de aplicar la técnica de flood fill al agrupamiento de mayor tamaño seleccionado

Posteriormente se traza el contorno del agrupamiento seleccionado al marcar el perímetro de la herida como se muestra en la Fig. 27, el algoritmo utilizado para la detección del contorno es el algoritmo de Square tracing.

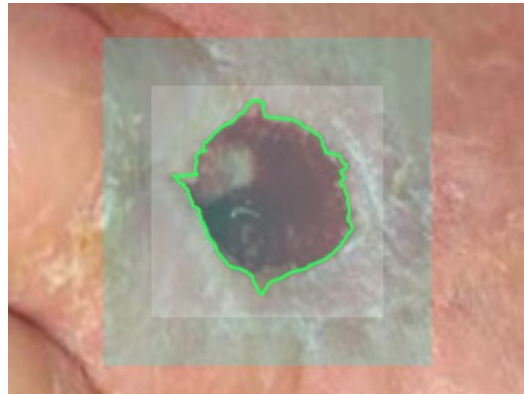


Figura 27. Ejemplo del trazo de contorno de lo que es herida según el algoritmo propuesto

Se cuenta el número de píxeles que se encuentran dentro de este contorno para calcular el área de la lesión del pie diabético.

4.4. Experimento

4.4.1. Diseño del experimento

La gravedad de los pacientes vistos durante el mes de Agosto y Septiembre en la Clínica de heridas supero la expectativa de la condición en la que se llegan los pacientes, donde la mayoría contaba con múltiples úlceras, úlceras recurrentes, heridas circulares o amputaciones, debido a la gravedad del estado de las úlceras se utilizó la base de datos del 2015 y 2016 (1996 imágenes de 300 pacientes) de la Clínica de Heridas del Centro de Salud de Guadalupe Zacatecas para extraer 15 imágenes de pacientes diferentes con heridas menores a 15 cm de diámetro para realizar pruebas del algoritmo.

El experimento consiste en comparar lo que un experto de la herida del pie diabético determina que es el área de la herida en pixeles con lo que el algoritmo determina que es área de la herida, donde las métricas a comparar son la precisión y la exhaustividad.

Se diseñaron dos aplicaciones móviles, la primera para facilitar al experto la determinación del área de la herida, la cual consiste en 20 puntos que se arrastran para formar un polígono de lo que para el experto es la herida, se capturan las coordenadas de cada punto.

La segunda aplicación carga los datos capturados del experto, sobre la imagen dos recuadros que se centran donde se encuentra la herida y la herramienta compara lo que el algoritmo determina como herida, lo que el experto determina que es herida y el área de la intersección de ambos en términos de precisión y exhaustividad.

4.4.2. Métricas del experimento

4.2.2.1. Precisión y exhaustividad

La precisión se refiere a la cantidad de documentos encontrados (Cornell University, 2003) que son correctos, para el caso de la herida del pie diabético se refiere a la porción de herida relevante en comparación con el total de herida encontrada. La exhaustividad se refiere a la porción de herida relevante en comparación con el total de herida según la valoración del experto.

Tabla 8. Precisión y exhaustividad

	Predicción 1	Predicción 0
Verdadero 1	a	b
Verdadero 0	c	d
Precisión = $a / (a + c)$		Exhaustividad = $a / (a + b)$

4.2.2.2. F1 score

Mide exactitud utilizando las estadísticas de precisión (p) y exhaustividad (r). La métrica de F1 pesa exhaustividad y precisión por igual, donde un buen algoritmo de recuperación maximizará precisión y exhaustividad al mismo tiempo (Kaggle) . La métrica de F1 está dada por:

$$F1 = \frac{2pr}{p+r}$$

4.5. Resultados

Al obtener el área de la herida determinada por el experto y área de la herida determinada por la herramienta en píxeles, se compararon ambas áreas para cada una de las imágenes, para encontrar los verdaderos positivos (herida encontrada que realmente es herida), los falsos positivos (herida encontrada que no es herida), en la Tabla 9 se muestran los datos obtenidos.

Tabla 9. Segmentación de las imágenes de la herida del pie diabético

Imagen	Área experto	Área herramienta	Intersección	Precisión	Exhaustividad
1	105459	104749	99513	0.9500	0.9436
2	23764	15985	15964	0.9986	0.6717
3	15260	14134	12464	0.8818	0.8167
4	106962	116618	106169	0.9103	0.9925
5	37755	31842	30766	0.9662	0.8148
6	129564	54403	54190	0.9960	0.4182
7	180993	189963	177391	0.9338	0.9800
8	37139	24450	23718	0.9700	0.6386
9	16223	19346	14894	0.7698	0.9180
10	50837	48678	47107	0.9677	0.9266
11	25647	34562	25560	0.7395	0.9966
12	9439	9798	8855	0.9037	0.9381
13	124108	128738	121388	0.9429	0.9780
14	11390	9480	8978	0.9470	0.7882
15	15029	13236	13175	0.9953	0.8766

La media para las 15 imágenes analizadas tuvo una precisión de 0.9248, y una exhaustividad de 0.8465, la precisión se refiere a que lo que el algoritmo determina que es herida, realmente es herida según la valoración del experto y la exhaustividad se refiere a la cantidad de herida encontrada por el algoritmo en comparación con la herida encontrada por el experto. Para poder relacionar la precisión y la exhaustividad se calculó la métrica de F1 y se obtuvo una exactitud de 0.8839.

Las imágenes de los pacientes de la clínica de heridas analizadas por el algoritmo muestran un buen desempeño del algoritmo de segmentación tanto en precisión y exhaustividad como se puede observar en la Tabla 9.

Con imágenes que cuentan con una gran cantidad de sombras el algoritmo tiene una baja precisión al momento de segmentar, esto se debe a que el algoritmo no puede distinguir de manera correcta cual es la delimitación de la herida, debido a que algunos tonos de piel con sombra son similares a los tonos de piel de la herida, este es el caso de las imágenes número 9 y 11 de la Tabla 9.

En el caso de la exhaustividad podemos observar que para las imágenes 6 y 2 de la Tabla 9. que tienen la exhaustividad más baja es debido a que el tono de la herida es muy similar al tono de piel y al momento de generar el modelo de piel, la diferencia entre ambos resulta en la obtención de una pequeña parte de la herida.

Capítulo 5. Conclusiones y trabajo a futuro

En este capítulo se comparan las herramientas similares a la propuesta, las conclusiones y el trabajo a futuro.

5.1. Análisis de la competencia

Al analizar los tres tipos de herramientas (Liu, Wang, Healogram) se puede observar que Healogram y Liu tienen la ventaja de hacer una valoración por medio un experto, en el caso de Liu un experto se encarga de operar el sistema. Healogram y Wang funcionan para plataformas móviles. La mayor desventaja de Healogram es utilizar una calcomanía como referencia del tamaño de la herida y que requiere de la red de datos o conexión wifi para su funcionamiento.

Por otra parte la aplicación para teléfonos Android propuesta en Smartphone-Based wound assessment y el Sistema de Telemedicina de Liu requieren del uso de una caja de captura para controlar la iluminación de la herida, esto puede generar consecuentes riesgos de contaminación.

De todas las herramientas analizadas la única que genera un modelo 3D de la herida es el Sistema de Telemedicina de Wang, este proporciona información de profundidad sumamente importante para el tratamiento si es generado de manera correcta, lo que implica que el paciente no se mueva durante 90 segundos. En la Tabla 10 se puede ver de manera más clara y completa las características de cada herramienta.

Tabla 10. Comparación de herramientas

Características	Liu 2014	Wang 2011	Healogram 2014	Propuesta
Unidad de medida	Pixeles	Pixeles	No especifica	Pixeles
Dimensiones	m3	móvil	móvil	móvil
Requiere red de datos o Wifi	No especifica	Opcional	Indispensable	No
Instalación	Presencial	Remota	Remota	Remota
Requiere iluminación controlada	Si	Si	No	No
Tamaño de la imagen	816x612	1600x1200	No especifica	variable
Valoración por un experto	Si	No	Si	No
Valoración en tonalidades de la herida	Si	Si	No especifica	No
Requiere calibración inicial	Si	No	No	No
Valoración termográfica	Si	No	No	No
Modelado 3D	Si	No	No	No
Mercado objetivo	Clínicas	Clínicas y pacientes	Clínicas y pacientes	Clínicas y pacientes
Requiere entrenamiento previo (data set)	Si	No	No especifica	No

5.2. Conclusiones

El algoritmo implementado obtuvo una precisión y una exhaustividad de buen desempeño, considerando que las imágenes fueron tomadas en un ambiente de luz no controlada que es uno de los grandes problemas al momento de segmentar.

La generación del modelo de piel con cada imagen es una de las principales características del algoritmo y su desempeño en diferentes tonos de piel sana, cicatrices y úlceras se refleja en la precisión y exhaustividad obtenidos.

En la clínica de heridas el tiempo promedio para valorar, curar y documentar cada paciente es de 15 minutos, donde los recursos son limitados y los espacios son reducidos, no se da seguimiento a la evolución de la herida y menos si la mayoría de los pacientes tienen múltiples heridas, utilizar el algoritmo en un dispositivo móvil facilitaría el trabajo de documentación para el personal de salud.

5.3. Trabajo a futuro

Durante la estancia en la clínica de heridas del Centro de Salud se descubrió que el algoritmo también funciona para segmentar quemaduras por lo que se podría explorar este tema a detalle e incluso ver para que otro tipo de heridas se puede aplicar el algoritmo.

Referencias

- Armstrong D. G., Peters EJ. Classification of wounds of the diabetic foot. *Curr Diab Rep* 2001;1:233-238.
- Armstrong D. G., et. al. "Skin temperature monitoring reduces the risk for diabetic foot ulceration in high-risk patients," *The American Journal of Medicine*, vol. 120, no. 12, pp. 1042–1046, 2007.
- Breen J. D., Karchmer A. W. Staphylococcus aureus infections in diabetic patients. *Infect Dis Clin North Am* 1995;9:11-24.
- Campus de Excelencia Internacional. (2016), de http://asignatura.us.es/imagendigital/Tema5_SegmentacionRegionesUmbralizacion.pdf
- Contour Tracing. (2016), de http://www.imageprocessingplace.com/downloads_V3/root_downloads/tutorials/contour_tracing_Abeer_George_Ghuneim/moore.html
- Cornell University. (2003). Retrieved October 04, 2016, de http://www.cs.cornell.edu/courses/cs578/2003fa/performance_measures.pdf
- Departamento de Estadística - UC3M. Obtenido el 07 de Junio del 2016, de <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/pgaleano/esp/2008-2009/EIII/Tema2.pdf>
- ENSANUT - insp.mx. Obtenido el 24 de October del 2016, de <https://www.insp.mx/ensanut.html>
- For Your Life. Obtenido el 07 de Marzo del 2016, de <http://www.flir.com/Home/>
- Hernández-Ávila, M., Gutiérrez, J. P., & Reynoso-Noverón, N. (2013). Diabetes mellitus in Mexico: Status of the epidemic. *salud pública de méxico*, 55, s129-s136.
- Harding, J.R., et al., "Infrared imaging in diabetic foot ulceration," *Engineering in Medicine and Biology Society*, 1998. Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE, vol.2, no., pp.916,918 vol.2, 29 Oct-1 Nov 1998.
- Ince P, Abbas ZG, Lutale JK, et al. Use of the SINBAD classification system and score in comparing outcome of foot ulcer management on three continents. *Diabetes Care* 2008;31:964-967.
- Kaggle. Mean F Score. Retrieved October 11, 2016, from <https://www.kaggle.com/wiki/MeanFScore>

- King, H., Aubert, R. E., & Herman, W. H. (1998). Global burden of diabetes, 1995–2025: prevalence, numerical estimates, and projections. *Diabetes care*, 21(9), 1414-1431.
- Liu, Chanjuan, et al. "Infrared dermal thermography on diabetic feet soles to predict ulcerations: a case study." SPIE BiOS. International Society for Optics and Photonics, 2013.
- Martinez-De Jesus FR. A checklist system to score healing progress of diabetic foot ulcers. *Int J Low Extrem Wounds* 2010;9:74-83.
- Nedrich, M. (2015). Mean Shift Clustering Overview. Retrieved December 06, 2016, from <https://spin.atomicobject.com/2015/05/26/mean-shift-clustering/>
- Oyibo S. O., Jude E. B., Tarawneh I., et al. A comparison of two diabetic foot ulcer classification systems: the Wagner and the University of Texas wound classification systems. *Diabetes Care* 2001;24:84-88.
- Prodan, A., Rusu, M., Revnic, C., Campean, R., Mitrea, P., & Prodan, R. (2010, Febrero). Intelligent e-Tools for Wound Image Understanding and Evaluation. In *Digital Society, 2010. ICDS'10. Fourth International Conference on* (pp. 8-13). IEEE.
- R. Bitmap/Flood fill - Rosetta Code. Retrieved December 6, 2016, from https://rosettacode.org/wiki/Bitmap/Flood_fill#Python
- Rother, C., Kolmogorov, V., & Blake, A. (2004, Agosto). Grabcut: Interactive foreground extraction using iterated graph cuts. In *ACM transactions on graphics (TOG)* (Vol. 23, No. 3, pp. 309-314). ACM.
- Sánchez, G. (n.d.). Patentes en Mexico Una Introduccion. Retrieved December 06, 2016, from <http://www.marcas.com.mx/Intro/IntroPatentes.htm>
- Villamil, Z. F., & García, E. (2016, July 05). Diabetes impone una 'pesada' carga económica para el IMSS. Retrieved December 05, 2016, from <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/diabetes-impone-una-pesada-carga-economica-para-el-imss.html>
- Wang, L., Pedersen, P. C., Strong, D. M., Tulu, B., Agu, E., & Ignatz, R. (2015). Smartphone-based wound assessment system for patients with diabetes. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 62(2), 477-488.
- World Health Organization. (2004). *Diabetes action now: an initiative of the World Health Organization and the International Diabetes Federation*.
- Yu, F., & Gallup, D. (2014). 3d reconstruction from accidental motion. In *Proceedings of the IEEE*

Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 3986-3993).

Anexos

Anexo 1. Código

Algoritmo de despazamiento

```
for p in puntos:
    while not en_pico_kde:
        p = shift(p, puntos_originales)

def shift(p, puntos_originales):
    shift_x = float(0)
    shift_y = float(0)
    scale_factor = float(0)
    for p_temp in puntos_originales:
        # numerador
        distancia = distancia_euclideana(p, p_temp)
        peso = kernel(distancia, ancho_de_banda_kernel)
        shift_x += p_temp[0] * peso
        shift_y += p_temp[1] * peso
        # denominador
        factor_de_escalado += peso
    shift_x = shift_x / factor_de_escalado
    shift_y = shift_y / factor_de_escalado
```

```
return [shift_x, shift_y]
```

Otsu

```
int histogram[256];  
for(int jj = 0;jj<256;jj++)  
    histogram[jj]=0;  
for (int ii = 0 ; ii < width*height ; ++ii)  
    {  
        int gray = data[byteIndex];  
        histogram[gray] = histogram[gray]+1;  
        totalPixels++;  
        byteIndex ++;  
    }
```

```
float sum = 0;  
for(int i=0; i<256; i++)  
    sum += i * histogram[i];  
float sumB = 0;  
int wB = 0;  
int wF = 0;  
float varMax = 0;
```



```

int threshold = 0;

for(int i=0 ; i<256 ; i++)
    {
    wB += histogram[i];
    if(wB == 0) continue;
    wF = totalPixels - wB;
    if(wF == 0) break;
    sumB += (float) (i * histogram[i]);
    float mB = sumB / wB;
    float mF = (sum - sumB) / wF;
    float varBetween = (float) wB * (float) wF * (mB - mF) * (mB - mF);
    if(varBetween > varMax)
        {
        varMax = varBetween;
        threshold = i;
        }
    }
}

```

```

byteIndex = 0;

```

```

int red;

```

```

int newPixel;

```

```

for (int ii = 0 ; ii < width*height ; ++ii)

```

```

    {

```

```

if(data[byteIndex]> threshold)
    newPixel = 255;
else newPixel = 0;
rawData[byteIndex] = newPixel;
byteIndex ++;
}

```

Trazo de contorno

```

for (int ii = 0 ; ii < width*height ; ii++)
{
    if(rawDataOtsu[ii*4]==0)
    {
        firstPixel = ii;
        [border addObject:[NSNumber numberWithInt:ii]];
        while (nextPixel!=firstPixel)
        {
            nextPixel = 0;
            while (nextPixel==0)
            {
                if (clockwise%8==0)
                {
                    iiAux = (ii-(int)width)-1;

```

```

clockwise = 0;

if (rawDataOtsu[iiAux*4]==0)
    nextPixel = iiAux;
else clockwise++;
}

else if (clockwise%8==1)
{
    iiAux = ii-(int)width;
    clockwise = 1;
    if (rawDataOtsu[iiAux*4]==0)
        nextPixel = iiAux;
    else clockwise++;
}

else if (clockwise%8==2)
{
    iiAux = (ii-(int)width)+1;
    clockwise = 2;
    if (rawDataOtsu[iiAux*4]==0)
        nextPixel = iiAux;
    else clockwise++;
}

else if (clockwise%8==3)
{
    iiAux = ii+1;
    clockwise = 3;

```

```

if (rowDataOtsu[iiAux*4]==0)
    nextPixel = iiAux;
else clockwise++;
}
else if (clockwise%8==4)
{
    iiAux = ii+(int)width+1;
    clockwise = 4;
    if (rowDataOtsu[iiAux*4]==0)
        nextPixel = iiAux;
    else clockwise++;
}
else if (clockwise%8==5)
{
    iiAux = ii+(int)width;
    clockwise = 5;
    if (rowDataOtsu[iiAux*4]==0)
        nextPixel = iiAux;
    else clockwise++;
}
else if (clockwise%8==6)
{
    iiAux = (ii+(int)width)-1;
    clockwise = 6;
    if (rowDataOtsu[iiAux*4]==0)

```

```

        nextPixel = iiAux;

        else clockwise++;

    }

    else if (clockwise%8==7)

    {

        iiAux = ii-1;

        clockwise = 7;

        if (rowDataOtsu[iiAux*4]==0)

            nextPixel = iiAux;

        else clockwise++;

    }

    }

    if (clockwise==0)

        clockwise=7;

    else clockwise--;

    ii = iiAux;

    [border addObject:[NSNumber numberWithInt:ii]];

}

ii = (int)(width*height);

}

}

```

Flood fill

```
def FloodFill( fileName, initNode, targetColor, replaceColor ):

    img = Image.open( fileName )

    pix = img.load()

    xsize, ysize = img.size

    Q = []

    if pix[ initNode[0], initNode[1] ] != targetColor:

        return img

    Q.append( initNode )

    while Q != []:

        node = Q.pop(0)

        if pix[ node[0], node[1] ] == targetColor:

            W = list( node )

            if node[0] + 1 < xsize:

                E = list( [ node[0] + 1, node[1] ] )

            else:

                E = list( node )

            # Move west until color of node does not match targetColor

            while pix[ W[0], W[1] ] == targetColor:

                pix[ W[0], W[1] ] = replaceColor

                if W[1] + 1 < ysize:

                    if pix[ W[0], W[1] + 1 ] == targetColor:

                        Q.append( [ W[0], W[1] + 1 ] )

                if W[1] - 1 >= 0:
```

```

    if pix[ W[0], W[1] - 1 ] == targetColor:
        Q.append( [ W[0], W[1] - 1 ] )
if W[0] - 1 >= 0:
    W[0] = W[0] - 1
else:
    break
# Move east until color of node does not match targetColor
while pix[ E[0], E[1] ] == targetColor:
    pix[ E[0], E[1] ] = replaceColor
    if E[1] + 1 < ysize:
        if pix[ E[0], E[1] + 1 ] == targetColor:
            Q.append( [ E[0], E[1] + 1 ] )
    if E[1] - 1 >= 0:
        if pix[ E[0], E[1] - 1 ] == targetColor:
            Q.append( [ E[0], E[1] - 1 ] )
    if E[0] + 1 < xsize:
        E[0] = E[0] + 1
    else:
        break
return img

```

Distribución normal multivariante

```
-(NSMutableArray*)mulTranspuesta:(int)rm andG:(int)gm andB:(int)bm{
    int rr = rm*rm;
    int rg = rm*gm;
    int rb = rm*bm;
    int gr = gm*rm;
    int gg = gm*gm;
    int gb = gm*bm;
    int br = bm*rm;
    int bg = bm*gm;
    int bb = bm*bm;
    NSMutableArray *res = [[NSMutableArray alloc] init];
    [res addObject:[NSNumber numberWithInt:rr]];
    [res addObject:[NSNumber numberWithInt:rg]];
    [res addObject:[NSNumber numberWithInt:rb]];
    [res addObject:[NSNumber numberWithInt:gr]];
    [res addObject:[NSNumber numberWithInt:gg]];
    [res addObject:[NSNumber numberWithInt:gb]];
    [res addObject:[NSNumber numberWithInt:br]];
    [res addObject:[NSNumber numberWithInt:bg]];
    [res addObject:[NSNumber numberWithInt:bb]];
    return res;
}
```


Clustering

```
for (int ii = 0 ; ii < width*height ; ii++)
{
    if (rawDataOtsu[byteIndex]==0)
    {
        [currentCluster removeAllObjects];
        [currentCluster addObject:[NSNumber numberWithInt:ii]];
        data[byteIndex] = 255;
        for(int j=0; j<[currentCluster count];j++)
        {
            int aux = [[currentCluster objectAtIndex:j] intValue];
            int auxLeft = aux-1;
            int auxRight = aux+1;
            int auxTop = aux-(int)width;
            int auxBottom = aux+(int)width;
            if(auxLeft/width>=y0i && auxLeft/width<=yfi)
            {
                if (data[auxLeft]==0)
                {
                    [currentCluster addObject:[NSNumber numberWithInt:auxLeft]];
                    data[auxLeft] = 255;
                }
            }
            if(auxRight/width>=y0i && auxRight/width<=yfi)
            {
                if (data[auxRight]==0)
                {
                    [currentCluster addObject:[NSNumber numberWithInt:auxRight]];
                }
            }
        }
    }
}
```

```

        data[auxRight] = 255;
    }
}
if(auxBottom/width>=y0i && auxBottom/width<=yfi)
{
    if (data[auxBottom]==0)
    {
        [currentCluster addObject:[NSNumber numberWithInt:auxBottom]];
        data[auxBottom] = 255;
    }
}
if(auxTop/width>=y0i && auxTop/width<=yfi)
{
    if (rowDataOtsu[auxTop*4]==0)
    {
        [currentCluster addObject:[NSNumber numberWithInt:auxTop]];
        data[auxTop] = 255;
    }
}
}
if ([currentCluster count]>[maxCluster count])
{
    maxCluster = [NSMutableArray arrayWithArray:currentCluster];
}
else if (ii/width>yfi)ii = (int)(width*height);
}
byteIndex ++;
}

```

Anexo 2. Trámite de patentes

La propiedad industrial protege: a) Patentes, Registros de Modelos de utilidad, Registros de Diseños industriales y esquemas de trazado de circuitos integrados.

Las solicitudes se pueden presentar ante el IMPI en las Oficinas Centrales o Regionales, así como en las Delegaciones o Sub-delegaciones Federales de la Secretaría de Economía (SE) en el interior de la República. Toda solicitud debe presentarse en forma escrita y redactada en idioma español.

Una patente o un registro es un privilegio que confiere un derecho exclusivo de explotación concedido por el Estado, es decir por el Gobierno Mexicano, a través de la Administración Pública Federal, mediante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial a la Persona que realiza una invención es decir, al inventor de un producto o un proceso.

2.1. Documentos básicos para la presentación de las solicitudes

1. Formato de solicitud llenado y con firma autógrafa en tres tantos.
2. Comprobante de pago de la tarifa.
3. Descripción de la invención en tres tantos.
4. Reivindicaciones por triplicado.
5. Resumen de la descripción de la invención por triplicado.
6. Dibujos técnicos en tres tantos.

2.2. Tiempo aproximado del trámite

Una vez que la solicitud cumple con el examen de forma, se publica a los 18 meses o antes a petición del solicitante. Posterior a su publicación se practica el examen de fondo el cual, de existir observaciones al respecto, el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) solicitará las aclaraciones correspondientes mismas que deberán ser atendidas en un plazo no mayor de 2 meses.

En caso contrario se considerará abandonada la solicitud. De no existir observaciones, el IMPI otorgará los derechos correspondientes al titular de la patente en un período de tiempo de 30 meses aproximadamente a partir de la fecha de presentación de la solicitud.

2.3. Lo que no se puede patentar

1. Los principios teóricos o científicos.
2. Los descubrimientos que consistan en dar a conocer o revelar algo que ya existía en la naturaleza, aún cuando anteriormente fuese desconocido para el hombre.
3. Los esquemas, planes, reglas y métodos para realizar actos mentales, juegos o negocios y los métodos matemáticos.
4. Los programas de computación (se protegen mediante Derechos de Autor)
5. Las formas de presentación de información.
6. Las creaciones estéticas y las obras artísticas o literarias. (se protegen mediante Derechos de Autor)
7. Los métodos de tratamiento quirúrgico, terapéutico o de diagnóstico aplicables al cuerpo humano y los relativos a animales; y,
8. La yuxtaposición de invenciones conocidas o mezclas de productos conocidos, su variación de uso, de forma, de dimensiones o de materiales, salvo que en realidad se trate de su combinación o fusión de tal manera que no puedan funcionar separadamente o que las

cualidades o funciones características de las mismas sean modificadas para obtener un resultado industrial o un uso no obvio para un técnico de la materia.

2.3. Tips

El software (código) no se puede patentar en Mexico pero si se puede registrar como derechos de Autor, una alternativa es patentar el procedimiento realizado por el Software siempre y cuando sea novedoso y tenga actividad inventiva.

Al iniciar con la redacción de la patente es necesario hacer una búsqueda de lo que ya existe en Mexico y en el mundo para confirmar que lo que se quiere patentar no está protegido aquí en Mexico ni en el Mundo, de lo contrario se puede optar por una protección de la propiedad intelectual mediante un modelo de utilidad.

Antes de meter la solicitud de patente es conveniente acudir al IMPI a la oficina central más cercana y pedir una cita con la persona encargada de la patentes para que revise los documentos y de una retroalimentación de la patente.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATEMÁTICAS, A.C.

BIBLIOTECA

AUTORIZACION
PUBLICACION EN FORMATO ELECTRONICO DE TESIS

El que suscribe
Autor(s) de la tesis: Martha Magdalena Mena Arellanos

Título de la tesis: Valoración del área de la herida del pie diabético

Institución y Lugar: Centro de Investigación en Matemáticas, A.C. Zacatecas.

Grado Académico: Licenciatura () Maestría (X) Doctorado () Otro () _____

Año de presentación: 2016

Área de Especialidad: Ingeniería de Software

Director(es) de Tesis: Carlos Alberto Lara Álvarez

Correo electrónico: martha.mena@cimat.mx

Domicilio: Manuel M. Ponce #414 int. 11, Zacatecas, Zac., C.P. 98050

Palabra(s) Clave(s): segmentación, algoritmo, distribución multivariante

Por medio del presente documento autorizo en forma gratuita a que la Tesis arriba citada sea divulgada y reproducida para publicarla mediante almacenamiento electrónico que permita acceso al público a leerla y conocerla visualmente, así como a comunicarla públicamente en la Página WEB del CIMAT.

La vigencia de la presente autorización es por un periodo de 3 años a partir de la firma de presente instrumento, quedando en el entendido de que dicho plazo podrá prorrogar automáticamente por periodos iguales, si durante dicho tiempo no se revoca la autorización por escrito con acuse de recibo de parte de alguna autoridad del CIMAT

La única contraprestación que condiciona la presente autorización es la del reconocimiento del nombre del autor en la publicación que se haga de la misma.

Atentamente

Martha Mena A.

Nombre y firma del tesista

CALLE JALISCO S/N MINERAL DE VALENCIANA APDO. POSTAL 402
C.P. 36240 GUANAJUATO, GTO., MÉXICO
TELÉFONOS (473) 732 7155, (473) 735 0800 EXT. 49609 FAX. (473) 732 5749
E-mail: biblioteca@cimat.mx