

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL  
PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**Segmentación automática de la planta de pie en  
imágenes termográficas en entorno ruidoso para el  
diagnóstico de pie diabético**

**Tesis para optar el Título de Ingeniero Informático, que presenta el  
bachiller:**

**Marko André Alpiste Pomalaza**

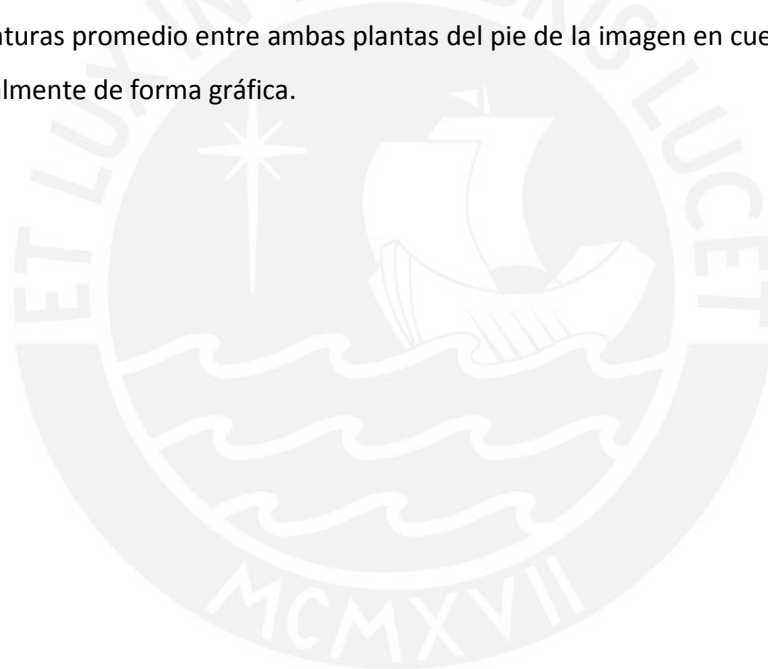
**Asesor: Dr. César Beltrán Castañón**

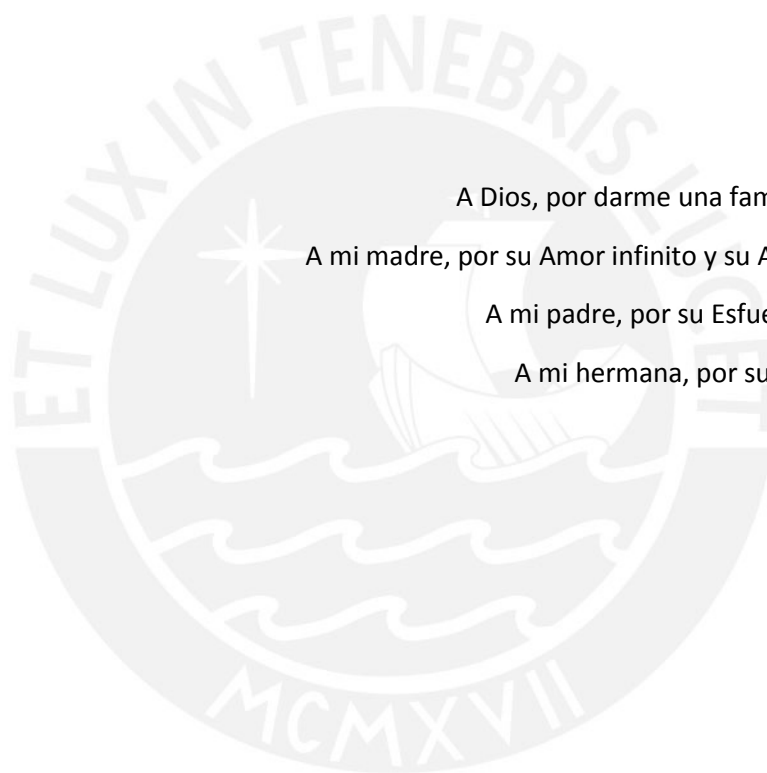
**Lima, julio del 2016**

## RESUMEN

La diabetes es un problema social cada vez más presente en nuestro país debido a los cambios en el estilo de vida de las personas. Este proyecto de fin de carrera busca apoyar a la prevención de la diabetes tipo 2 mostrando un algoritmo de segmentación automática de la planta de los pies que calcula la diferencia de temperatura entre ambos, a fin de que apoye al estudio que propone el poder prevenir la aparición de dicha enfermedad según el valor promedio de la diferencia de temperatura entre ambas plantas.

Para dicho fin se realizara un programa en MatLab que implemente dicho algoritmo que procese imágenes termográficas en entornos ruidosos y que calcule la diferencia de temperaturas promedio entre ambas plantas del pie de la imagen en cuestión, mostrándolo adicionalmente de forma gráfica.





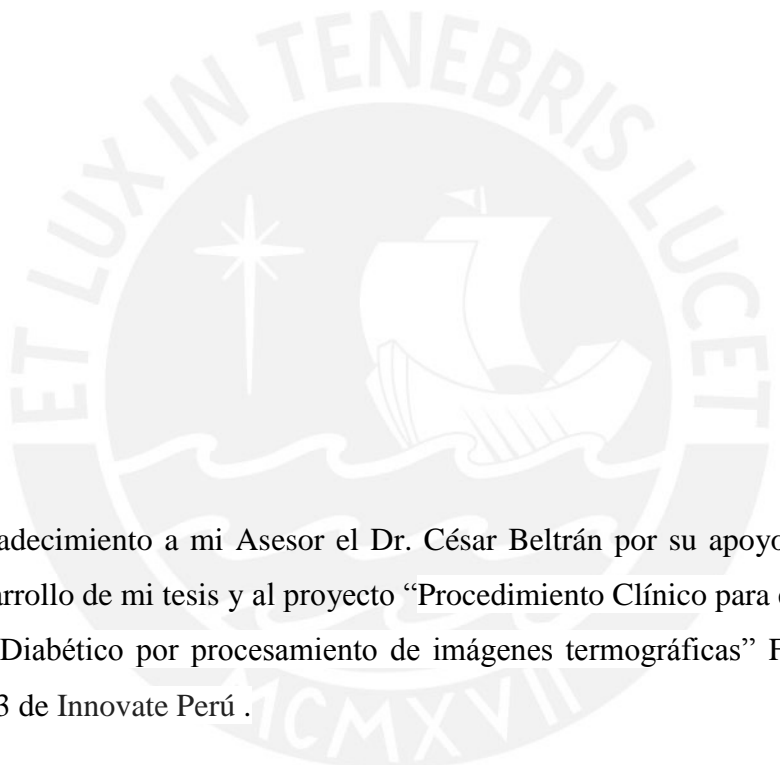
A Dios, por darme una familia tan maravillosa

A mi madre, por su Amor infinito y su Apoyo incondicional

A mi padre, por su Esfuerzo y Comprensión

A mi hermana, por su Confianza y Cariño

Dios los Bendiga



Agradecimiento a mi Asesor el Dr. César Beltrán por su apoyo constante en el desarrollo de mi tesis y al proyecto “Procedimiento Clínico para el diagnóstico de Pie Diabético por procesamiento de imágenes termográficas” FinCyT 204 -IA-2013 de Innovate Perú .

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>7</b>
1.1. Problemática	7
1.2. Herramientas, métodos, metodologías y procedimientos	11
1.3. Delimitación	14
1.4. Justificativa y viabilidad del proyecto	17
 <b>CAPÍTULO 2</b>	 <b>19</b>
2.1.2. Diabetes	19
2.1.2.1. Diabetes tipo1	20
2.1.2.2. Diabetes tipo 2	20
2.1.2.3. Diabetes Gestacional	20
2.1.3. Delta de temperatura	22
2.1.4. Procesamiento digital de imágenes	22
2.1.4.1. Entorno con Ruido	22
2.1.4.2. Entorno Ideal	23
2.1.4.3. Gradiente de imagen	24
2.1.4.4. Umbralización	24
2.1.5. Conclusión	25
2.2. Estado del arte	26
2.2.2. Método usado en la revisión del estado del arte	26
2.2.3. Procesamiento de imágenes desde el punto de vista morfológico para la detección de tumores y células cancerígenas	28
2.2.4. Obtención de Imágenes usando un Algoritmo Interactivo Genético	30
2.2.7. Conclusiones sobre el estado del arte	32
 <b>CAPÍTULO 3</b>	 <b>34</b>
3.1. Introducción	34
3.2. Resultado1 para Objetivo1	34
 <b>CAPÍTULO 4</b>	 <b>36</b>
4.1. Introducción	36
4.2. Pre-procesamiento de las imágenes	37
4.3. Segmentación	39
 <b>CAPÍTULO 5</b>	 <b>46</b>

<b>Experimentación y Resultados</b>	<b>46</b>
5.1 Introducción	46
5.2 Resultados	46
5.3 Comparación de Resultados	56
5.4 Conclusiones	59
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>60</b>
<b>Conclusiones y Trabajos Futuros</b>	<b>60</b>
Referencias bibliográficas	61



## CAPÍTULO 1

### Generalidades

#### 1.1. Problemática

En la actualidad el problema de la diabetes se ha visto incrementado por el cambio en los estilos de vida y alimentación de las personas (Seclen2015). La diabetes es una enfermedad crónica que aparece cuando el páncreas no produce insulina suficiente o cuando el organismo no utiliza eficazmente la insulina que produce. La insulina es una hormona que regula el azúcar en la sangre (Botella et. al. 2015). De no darse un control apropiado al paciente este puede presentar problemas vasculares, destrucción de tejidos llegando hasta el punto de la amputación de extremidades o un daño grave a los órganos internos (Watcher et. al.2014).

El método tradicional de diagnóstico de la diabetes se basó en el nivel de glucosa que presenta el paciente, en 1997 se introduce la evaluación de relación entre nivel de glucosa y la presencia de retinopatía (American 2014). Recientes técnicas para el diagnóstico de la diabetes se han venido proponiendo mediante el análisis de ADN (Rakyan, 2011, Chenet.al. 2012). Otra de las técnicas para el diagnóstico y prevención de la diabetes, se refiere al análisis de la planta del pie, debido a que los pacientes comienzan presentando dolores y diferencias de temperatura, lo cual puede ser usado para la prevención, antes de la presencia de ulceraciones (Lipsky et. al.2004).

Esta última alternativa de análisis del pie diabético, se presenta como no invasiva, la misma que puede ser mejorada con la adquisición de imágenes que muestren las diferencias de temperatura en la planta del pie. Esto se consigue a través de una cámara termográfica que mediante diferencias de intensidad de los píxeles indican una diferencia de temperatura que puede ser aprovechado para el diagnóstico temprano de la diabetes (Cajacuri, 2013).

El problema con las imágenes termográficas, es que estas presentan mucho ruido. Es decir que la planta del pie, por la posición y forma de los pies del paciente, esta

no es idealmente adquirida, de manera que se pueda delimitar adecuadamente sólo la región de la planta. Este ruido dentro de la imagen puede provocar una mala interpretación del diagnóstico, y para efectos de un proceso automatizado, se estaría añadiendo ruido a este proceso. Los especialistas, que trabajan con las imágenes termográficas, realizan el proceso de segmentación de forma manual, es decir que mediante un programa de visualización de imágenes realizan el recorte de la región de interés. Esto demanda tiempo, además que se requiere de un especialista dedicado a este proceso.

Una adecuada segmentación de la planta de los pies en las imágenes es importante por los siguientes motivos:

- Permite eliminar áreas que no son de interés para el caso de estudio.
- Nos permite utilizar imágenes con ruido para realizar los estudios, este ruido es constituido por cualquier otro elemento con temperatura muy alejada de la mínima de la imagen y que dificulta por ende la segmentación adecuada de la región de interés; pero estas imágenes tienen la ventaja adicional de requerir mucho menos tiempo de obtención por muestra y no requiere contacto físico con los pies de los pacientes, los cuales suelen tener los pies muy delicados y la más pequeña magulladura puede conllevar una llaga y por ende gran perjuicio para el mismo; por lo cual resulta muy beneficioso su uso tanto para el encargado de recolectar las imágenes como para el paciente.

En ese sentido nuestro trabajo presenta un modelo de segmentación automática de las imágenes termográficas de la planta de pie, desarrollando un método basado en plantillas y contornos activos que delimitan la región de interés, eliminando ruidos presentes en la imagen que no corresponden a la planta del pie (especialmente protuberancias). Este proceso es de suma importancia para las posteriores etapas de análisis de la temperatura de la planta del pie para el diagnóstico de la diabetes.

### 1.1.1. Objetivo general

Desarrollar un algoritmo de segmentación de siluetas de plantas de pie humano en imágenes termográficas que poseen una alta presencia de información ruidosa, con el fin de apoyar el proceso de diagnóstico y prevención de diabetes de tipo 2, y para el desarrollo de una plataforma de consulta de imágenes (*image query*).

### 1.1.2. Objetivos específicos

El presente proyecto contempla los siguientes objetivos específicos:

- Objetivo 1: Obtener un conjunto de imágenes termográficas de prueba y sus respectivos métodos de pre procesamiento.
- Objetivo 2: Diseño e implementación del algoritmo de segmentación de planta de pie en imágenes termográficas que se robusta a la presencia de ruido.
- Objetivo 3: Evaluar y comparar el método propuesto en el objetivo 2 de con el resultado deseado por cada muestra de la base de datos del objetivo1.
- Objetivo 4: Desarrollo de una plataforma basada en image query que incorpore el algoritmo propuesto mediante una interfaz amigable de trabajo.

### 1.1.3. Resultados esperados

Los resultados esperados son:

- Resultado 1 para el objetivo 1: Base de datos de imágenes termográficas de plantas de los pies, con ruido y sin ruido obtenidas de muestras tomadas con una cámara termográfica en el laboratorio, las cuales serán pre procesadas para que puedan ser usadas con input para el software a elaborar.

- Resultado 2 para objetivos 2: Algoritmo de procesamiento de imágenes que permita la segmentación de la planta del pie en imágenes termográficas que sea robusta a entornos ruidosos.
- Resultado 3 para objetivos 3: Documento con los resultados obtenidos en la ejecución del software, incluyendo comparación entre resultados del procesamiento entre las imágenes sin ruido y sus respectivas contrapartes con ruido.
- Resultado 4 para objetivos 4: Plataforma de consulta de imágenes que permita el ingreso de una imagen ruidosa y la procese para otorgarnos el resultado de la segmentación de planta de pie en la imagen termográfica.



## 1.2. Herramientas, métodos, metodologías y procedimientos

### 1.2.1. Introducción

A continuación, se vinculan los resultados esperados con las herramientas disponibles:

Resultado Esperado	Herramienta Asociada
Res1: Conjunto de imágenes termográficas de plantas de los pies, con ruido y sin ruido, y la técnica de pre procesamiento definida para usar en cada una.	MatLab: Plataforma licenciada para desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes, señales y video.
Res2: Prototipo inicial que adapta el algoritmo propuesto, para ser sometido a pruebas.	MatLab: Plataforma licenciada para desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes, señales y video.
Res3: Documento con los resultados obtenidos en la ejecución del software, incluyendo precisión y comparación estadística entre resultados del procesamiento entre las imágenes sin ruido y sus respectivas contrapartes con ruido.	MatLab: Plataforma licenciada para desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes, señales y video.  Microsoft Word: Software de Procesamiento de Textos
Res4: Software funcional y validado para la detección de plantas de los pies en entornos con ruido.	MatLab: Plataforma licenciada para desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes, señales y video.

## 1.2.2. Herramientas

### 1.2.2.1. MatLab:

MatLab es una plataforma especializada para desarrollo de software con gran complejidad de cálculos numéricos, estando entre sus numerosas aplicaciones al campo de la investigación el procesamiento de imágenes, señales y videos digitales; siendo así una de las mejores opciones para el desarrollo del presente proyecto y es posible de utilizar en el mismo gracias a la licencia con la que cuenta el proyecto para su desarrollo (Moore2014).

### 1.2.2.2. Microsoft Word:

Microsoft Word es una herramienta de procesamiento de texto perteneciente al paquete Microsoft Office 2014. El uso de la presente aplicación estará destinado al proceso de documentación de los diversos entregables que sean requeridos a lo largo del desarrollo del proyecto de fin de carrera (McKie et.al. 2014).

## 1.2.3. Métodos y Procedimientos

### 1.2.3.1. Experimentación Numérica

La experimentación numérica es un método de comparación de algoritmos según los resultados de cada uno sobre un mismo conjunto de data y su comportamiento estadístico, gracias a lo cual puede determinar de forma exacta la aceptación de una hipótesis planteada entre ellos o la aceptación de la hipótesis alternativa, la cual es la negación de la hipótesis original. Para fines de este proyecto de fin de carrera se utilizará principalmente para comparar el desempeño del prototipo con capacidad de procesar imágenes con ruido con el desempeño del software con procesamiento simple actual que procesa imágenes en entorno ideal, sobre el conjunto de imágenes sin ruido ambos, con el fin de comprobar cuál de los dos posee un mejor procesamiento para el caso dado, resultados más preciso y en menor tiempo.

### 1.2.3.2. Revisión Sistemática

La revisión sistemática es un método para la revisión de la literatura el cual se enfoca en disminuir la parcialidad a través de una investigación bibliográfica de los estudios a realizar sobre un determinado tema. Este método nos permitirá identificar, evaluar e interpretar las investigaciones relevantes sobre los potenciales algoritmos de image query para aplicar al problema planteado por el presente proyecto o bien métodos de pre procesamiento de imágenes para aplicarlas al conjunto de imágenes de prueba y que se señalan en los siguientes puntos (Moher, D et al.2014).



### 1.3. Delimitación

#### 1.3.1. Alcance

Con la realización de este proyecto de fin de carrera se pretende brindar un sistema el cual permita realizar de manera automática la tarea de procesar imágenes termográficas de planta de los pies en entornos ruidosos, con el objetivo de ahorrar recursos en la tarea de prevención de la diabetes mediante el proyecto en el que será utilizado.

Este escenario ha sido seleccionado debido a la gran cantidad de personas que saldrían beneficiadas con un método de prevención de diabetes de bajo coste, no invasivo, rápido y eficaz; para lo cual el aplicativo resultante de este proyecto de fin de carrera formara una parte crucial del mismo.

Debido a la gran cantidad de personas y la multiplicidad de razas existentes en nuestro país el presente proyecto se centrara en el procesamiento de imágenes de la planta de los pies de personas pertenecientes a la región Lima. Se espera en investigaciones posteriores aplicarlo en otras regiones también.

Así mismo el estudio se está haciendo con cámaras termográficas de la marca FLIR, las cuales poseen un estándar de imágenes propias de ella, por lo cual este proyecto se centra y enfoca en que el software procese imágenes procedentes de estas cámaras.

Para tal fin, se hará uso de técnicas y procedimientos propios del image query, buscando aplicar los conocimientos y avances ya realizados en este campo a nuestro problema en particular.

El sistema permitirá procesar imágenes termográficas de plantas de los pies en entornos con ruido, a partir de un algoritmo único de *image query*, detectando y diferenciando las plantas de los pies de ambas imágenes del fondo ruidoso y realizando el cálculo del delta de temperatura necesario para determinar el riesgo de padecer diabetes en el paciente objetivo, así como posibles zonas donde se podrían desarrollar llagas en la planta de los pies producto de una posible diabetes.

### 1.3.2. Limitaciones

Se identificaron las siguientes limitaciones para el proyecto:

- Limitación de número de muestras de pacientes, ya que se deben obtener muestras de las cámaras termográficas FLIR, que actualmente se poseen, con personas de Lima dispuestas a realizarlo, lo cual podría reducir el número de muestras a la que se podría tener acceso ya que depende de los voluntarios con los que se cuente.

### 1.3.3. Riesgos

A continuación, se listan los riesgos identificados asociados al desarrollo del proyecto, asignándoles valores entre 0 a 100 de acuerdo a su nivel de probabilidad e impacto, y las medidas para poder mitigar estos riesgos en caso se materialicen.

Riesgo identificado	Probabilidad	Impacto	Medidas correctivas para mitigar el impacto
Excesiva carga de trabajo del tesista.	25	40	Realizar una planificación del plan de trabajo diario, redistribuyendo el tiempo libre buscando dar prioridad a las tareas críticas e inmediatas para el desarrollo del aplicativo de la tesis y su documentación respectiva.

Falla en la asignación de tiempo requerido para el desarrollo de la tesis	25	30	Se desarrollará gran parte del proyecto de fin de carrera expuesta en este documento se ha ido desarrollando en el ciclo 2014-1 y seguirá así en el transcurso del ciclo 2014-1 al 2014-2, lo cual combinado con una planificación de tiempo orientada al peor de los casos mermara las posibilidades de manera considerable el que se pueda llegar a esta situación.
Presentación de entregables fuera de fechas establecidas.	35	40	Realizar la presentación del entregable al asesor por lo menos una semana previa a la fecha con el fin de poder realizar las correcciones correspondientes dentro del plazo.
Técnica de pre procesamiento de imágenes no genera los resultados esperados	25	50	Se tendrá una amplia gama de técnicas de pre procesamiento a utilizar en caso falle la que estemos aplicando con el fin de llegar al resultado esperado.
El método del algoritmo seleccionado de image query no genera los resultados esperados	35	60	Replantear el algoritmo seleccionado y profundizar en sus conceptos con el fin de adaptarlo de manera propicia al problema.

## **1.4. Justificativa y viabilidad del proyecto**

### **1.4.1. Justificativa**

-Es necesario el desarrollo de la presente investigación, ya que mediante su uso, permitirá reducir el coste de implementación y viabilidad del nuevo método de prevención de diabetes, lo cual permitirá en el caso particular del Hospital Dos de Mayo, ser el primero en poseer este nuevo método de detección de diabetes y poder ofrecerlo a un precio accesible a los pacientes del hospital que lo requieran.

- Es necesario para permitir mediante el uso que se tendrá en el mencionado Hospital, una disminución en las cifras de pacientes diabéticos en Lima, al poner al alcance de dichos pacientes un estudio para su detección temprana más accesible a sus presupuestos y de carácter no invasivo.

- Adicionalmente, el desarrollo de investigación teórica de este proyecto de fin de carrera es conveniente debido a que servirá como base para el desarrollo de este tipo de sistemas en el país, campo el cual aún es nuevo de estudio en el país y de gran utilidad para el área médica debido a las múltiples aplicaciones que se le pueden dar a las imágenes termográficas que no están siendo profundizadas en este proyecto.

### **1.4.2. Viabilidad**

#### **1.4.2.1. Viabilidad Técnica**

Este proyecto de fin de carrera es viable desde el punto de vista técnico debido a la investigación hecha en este documento y poseer la licencia de la última versión del MatLab herramienta de desarrollo de programas para solucionar diversos problemas matemáticos, estando entre ellos el procesamiento automático de imágenes y acceso a Office que se usará en la redacción del presente documento, lo cual permitirá realizar con el soporte adecuado

cualquier algoritmo que se pueda requerir para el proyecto.

#### **1.4.2.2. Viabilidad Temporal**

Este proyecto de fin de carrera es viable desde el punto de vista temporal debido al desarrollo paralelo que se ha ido dando lugar entre el aplicativo expuesto en este proyecto como de la documentación con un avance positivo de desarrollo actual de al menos 60% y que se va a seguir llevando a cabo en el tiempo de descanso entre Tesis 1 y Tesis 2, eso sumado al planeamiento de horarios priorizando la tesis en el siguiente ciclo determina que no va a faltar tiempo para su desarrollo y documentación.

#### **1.4.2.3. Viabilidad Económica**

Este proyecto de fin de carrera es viable desde el punto de vista económico debido a que forma parte de un proyecto financiado por FinCyT, del cual se puede poner toda la documentación solicitada, por lo cual se posee acceso a todas las licencias e implementos necesarios para su desarrollo y recolección de muestras.

#### **1.4.3. Análisis de Necesidades**

El presente proyecto forma parte de un proyecto financiado por FinCyT, participando en un desarrollo de software de procesamiento de imágenes termográficas, del cual el presente proyecto forma parte, por lo cual desde el punto de vista económico no posee limitaciones en su desarrollo, desde el punto de vista técnico se poseen todos los medios y funciones necesarios para su desarrollo y el soporte adecuado para llevarlo a cabo y desde el punto de vista temporal en este ciclo ha pasado la más fuerte, el siguiente ciclo con el software ya desarrollado, el tiempo no será una complicación debido a la gran cantidad de electivos que se llevan. Por lo cual el presente proyecto es viable.

## Marco Conceptual

### 2.1. Conceptualización

#### 2.1.1. Introducción

El desarrollo del presente documento brinda una posible solución al problema del procesamiento de imágenes termográficas de las plantas de los pies en la ciudad de Lima. Como ya se describió en el capítulo anterior, la problemática está influenciada por factores económicos, de salud y facilidad de uso de la solución; por lo tanto, el alcance de este trabajo es dar todos los pasos y conceptos necesarios para la elaboración del software, así como el software final resultante.

En esta sección se intenta aclarar la terminología usada a lo largo de este documento. La definición de estos términos son recogidos principalmente de la página web de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en cuanto a conceptos relacionados con la diabetes. Esta institución es una de las más reconocidas a nivel mundial en salud por lo cual es una fuente de información bastante confiable para los propósitos de este proyecto. Para los conceptos relacionados con el procesamiento de las imágenes en cuestión se usará el libro

Dada la relevancia que tendrán los métodos relacionados al procesamiento de imágenes a lo largo del proyecto, así como conceptos relacionados a la diabetes tipo 2; se les hará especial énfasis a esos conceptos.

#### 2.1.2. Diabetes

La diabetes es una enfermedad crónica que aparece cuando el páncreas no produce insulina suficiente o cuando el organismo no utiliza eficazmente la insulina que produce. La insulina es una hormona que regula el azúcar en la sangre. El efecto de la diabetes no controlada es la hiperglucemia (aumento del

azúcar en la sangre), que con el tiempo daña gravemente muchos órganos y sistemas, especialmente los nervios y los vasos sanguíneos. Puede ser de 3 tipos (American, 2014):

#### **2.1.2.1. Diabetes tipo1**

La diabetes de tipo 1 (también llamada insulino dependiente, juvenil o de inicio en la infancia). Se caracteriza por una producción deficiente de insulina y requiere la administración diaria de esta hormona. Se desconoce aún la causa de la diabetes de tipo 1, y no se puede prevenir con el conocimiento actual.

Sus síntomas consisten, entre otros, en excreción excesiva de orina (poliuria), sed (polidipsia), hambre constante (polifagia), pérdida de peso, trastornos visuales y cansancio. Estos síntomas pueden aparecer de forma súbita.

#### **2.1.2.2. Diabetes tipo 2**

La diabetes de tipo 2 (también llamada no insulino dependiente o de inicio en la edad adulta). Se debe a una utilización ineficaz de la insulina. Este tipo representa el 90% de los casos mundiales y se debe en gran medida a un peso corporal excesivo y a la inactividad física.

Los síntomas pueden ser similares a los de la diabetes de tipo 1, pero a menudo menos intensos. En consecuencia, la enfermedad puede diagnosticarse sólo cuando ya tiene varios años de evolución y han aparecido complicaciones.

Hasta hace poco, este tipo de diabetes sólo se observaba en adultos, pero en la actualidad también se está manifestando en niños.

#### **2.1.2.3. Diabetes Gestacional**

La diabetes gestacional es un estado hipo glucémico que aparece o se detecta por vez primera durante el embarazo.

Sus síntomas son similares a los de la diabetes de tipo 2, pero suele diagnosticarse mediante las pruebas prenatales, más que porque el paciente refiera síntomas.

Independientemente del tipo de diabetes que posea el paciente, esta se manifiesta en el paciente con las siguientes características.

- Con el tiempo, la diabetes puede dañar el corazón, los vasos sanguíneos, ojos, riñones y nervios.
- La diabetes aumenta el riesgo de cardiopatía y accidente vascular cerebral (AVC). Un 50% de los pacientes diabéticos mueren de enfermedad cardiovascular (principalmente cardiopatía y AVC).
- La neuropatía de los pies combinada con la reducción del flujo sanguíneo incrementan el riesgo de úlceras de los pies y, en última instancia, amputación.
- La retinopatía diabética es una causa importante de ceguera, y es la consecuencia del daño de los pequeños vasos sanguíneos de la retina que se va acumulando a lo largo del tiempo. Al cabo de 15 años con diabetes, aproximadamente un 2% de los pacientes se quedan ciegos, y un 10% sufren un deterioro grave de la visión.
- La diabetes se encuentra entre las principales causas de insuficiencia renal. Un 10 a 20% de los pacientes con diabetes mueren por esta causa.
- La neuropatía diabética se debe a lesión de los nervios a consecuencia de la diabetes, y puede llegar a afectar a un 50% de los pacientes. Aunque puede ocasionar problemas muy diversos, los síntomas frecuentes consisten en hormigueo, dolor, entumecimiento o debilidad en los pies y las manos.

- En los pacientes con diabetes el riesgo de muerte es al menos dos veces mayor que en las personas sin diabetes.

### **2.1.3. Delta de temperatura**

En el caso particular de este proyecto este término se refiere a la diferencia de temperaturas entre cada punto de las dos plantas de los pies, y el valor usado para determinar si el paciente posee diabetes es el promedio de dichos valores, es decir el delta de temperatura promedio de la diferencia de temperatura entre ambas plantas de los pies. (Cajacuri, L.A.V., 2013)

### **2.1.4. Procesamiento digital de imágenes**

Es el campo de procesamiento digital de imágenes perteneciente a la rama ciencia de imágenes. Para llevar a cabo este proyecto se deberán usar múltiples algoritmos pertenecientes a esta rama para mejorar la calidad de la imagen según nuestras necesidades con el fin de lograr obtener la silueta de la planta del pie en un entorno con ruido, para lo cual es adecuado definir primero que es un entorno con ruido. (Cajacuri, L.A.V., 2013)

#### **2.1.4.1. Entorno con Ruido**

Un entorno con ruido o ruidoso es aquel en el que no solo se encuentra la imagen que deseas obtener sino también otras imágenes u objetos en cualquier forma, pueden estar separados, juntos, superpuestos entre otros, de tal forma que se dificulta el diferenciar la imagen deseada del entorno, por ejemplo la Figura 2.1, muestra la planta de los pies con la presencia de ruido incluyendo la barra de temperatura, imagen cotidiana en el diagnóstico. (Cajacuri, L.A.V., 2013)

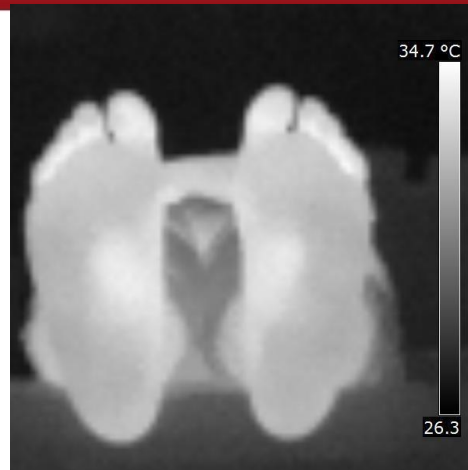


Figura 2.1. Imagen termográfica con ruido; IR\_1088

#### 2.1.4.2. Entorno Ideal

Para que el software actual funcione se requiere de generar un entorno ideal para la recolección de data. Un entorno ideal es uno tal que la única información que contiene es la o las imágenes deseadas y un fondo de ceros o valores cercanos a cero de forma que sean despreciables para la obtención de la imagen. Para realizar esto actualmente para el proyecto se hace uso de espumas con orificios de forma que cubran todo el cuerpo del paciente recostado salvo las plantas de sus pies, en teoría suena simple y realizable, pero llevado a la práctica se hallan los siguientes problemas:

- La espuma no cubre la totalidad de los tobillos de los pies para todos los pacientes, de hecho a pesar de poseer actualmente 2 medidas distintas de orificios son muy raros los casos en los que la espuma ajusta el pie de forma aceptable, por lo cual se requieren de 2 o más personas que manipulen la espuma hasta obtener una imagen aceptable.
- Inexactitud en la toma de datos, al tener que manipular la espuma en la mayoría de las veces se trasfiere calor y altera las tomas.
- Tiempo variable de obtención de muestras. (Cajacuri,L.A.V.,2013)

Por varios de los motivos anteriormente citados no es recomendable en este caso generar el entorno ideal. La Figura 2.2. muestra una imagen obtenida de un entorno ideal, donde se tiene bien definidas a las plantas de los pies.

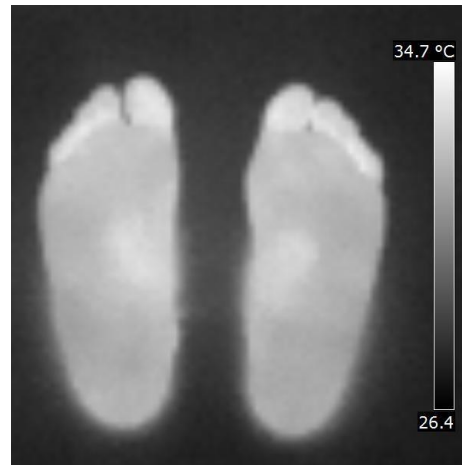


Figura 2.2. Imagen termográfica sin ruido, IR\_1070

#### 2.1.4.3. Gradiente de imagen

Es una función matemática aplicable a una imagen que te halla la gradiente en cada punto de la imagen, el resultado que se obtiene de aplicar esta función a una imagen es el borde de la imagen en cuestión, esto es muy útil para reconocer la silueta de la imagen deseada y asumir todo lo que encierra como la figura. Dependiendo de los parámetros se pueden conseguir siluetas más gruesas o delgadas. (Cajacuri, L.A.V., 2013)

#### 2.1.4.4. Umbralización

Es un método usado en el procesamiento de imágenes y consiste en convertir la imagen en una compuesta por 1s y 0s, es decir completamente blanco y negro sin ningún valor en escala de grises u otros colores, esto se realiza mediante el uso de un filtro que puede ser de un valor determinado o ser obtenido para cada imagen en tiempo de ejecución, es muy usada para filtrar información innecesaria o no deseada en las imágenes según su intensidad de color o temperatura como en este caso. (Cajacuri, L.A.V., 2013)

### 2.1.5. Conclusión

La definición de la enfermedad en cuestión está bien expuesta y su problemática es reconocida por la Organización Mundial de la Salud y posee amplia documentación y estudios. Lamentablemente aún no se ha logrado poner al alcance de las personas de niveles socioeconómicos medio y bajo métodos preventivos eficaces y de bajo presupuesto. Este proyecto se encargará de lograr reconocer las plantas de los pies en entornos ruidosos de forma que puedan tener la posibilidad de tener acceso a una forma de prevenir esta costosa y letal enfermedad.



## 2.2. Estado del arte

### 2.2.1. Introducción

La prevención de la diabetes es un problema de gran interés para los hospitales y clínicas en todo el país así como de interés mundial. Motivo por el cual se han desarrollado diversos métodos preventivos para detectarlo a tiempo y prevenir su aparición, sobre todo para la diabetes de tipo 2, la cual abarca este proyecto. En este capítulo se mostrarán soluciones aplicadas actualmente utilizadas en el Perú.

En esta sección se enunciarán las soluciones ofrecidas por investigadores en temas de la prevención y detección oportuna de la diabetes tipo 2. Aquí se intentará dilucidar cuán apropiadas serán estas soluciones en el contexto limeño, y se brindarán como alternativas de solución la combinación de estas para lograr el propósito de esta investigación.

### 2.2.2. Método usado en la revisión del estado del arte

La metodología a utilizar en este proyecto de fin de carrera puede ser descrita de la siguiente forma según el enfoque y utilidad que tendrán para el proyecto:

- Metodologías para la identificación de la diabetes: Literatura relacionada a la metodología adaptada y empleada en diversos países para detectar la diabetes.
- Metodologías para la identificación de imágenes en entorno ruidoso: Literatura relacionada a la metodología adaptada y empleada en diversos países para permitir la detección de una imagen deseada en un entorno real, es decir con ruido.
- Soluciones basadas en procesamiento de imágenes para la identificación de enfermedades: Literatura relacionada a la soluciones de software que

permitan detectar enfermedades.



### 2.2.3. Procesamiento de imágenes desde el punto de vista morfológico para la detección de tumores y células cancerígenas

Actualmente en Lima el método más usado para conseguir esto es mediante el análisis de imágenes en rayos X, los cuales pueden ser de poca exactitud. Lo cual es un grave problema para los médicos que la practican. En cambio, este estudio se llevó a cabo en la India por Parisa y Gurulakshmi en el cual proponen el método de MIP (Morphological Image Processing) para lograr detectar los tumores y células cancerígenas de forma que sea más probable el acierto, para lograrlo usa regiones de interés para obtener una segmentación de la imagen a procesar del cerebro para detectar tumores y extraer el área deseada a procesar de la imagen, también se usa algoritmo de compresión, en este caso se usa el estándar JPEG 2000 para reducir al mínimo la pérdida de data causada en la comprensión; este paso es fundamental para obtener un algoritmo óptimo de procesamiento de imágenes ya que a menor tamaño de la imagen a analizar, menor la cantidad de datos a recorrer, lo cual reduce el costo algoritmo de los bucles u otras estructuras recursivas en cuestión.

El paso clave para varias soluciones a este tipo de problemas de procesamiento digital de imágenes en el mercado es la segmentación que consiste en reducir una imagen en datos que sean más significativos y más fáciles de procesar que la imagen total. Aunque una desventaja de este método tan usado es que no hay una solución genérica al problema de procesar una imagen cualquiera y segmentarla, varía la solución según sea la imagen que se desea obtener y según el conocimiento del entorno en el que se encuentra ubicado la imagen; aunque cabe resaltar que si se llega a una solución después de realizar bien estos pasos para un problema de segmentación en particular.

La propuesta ofrecida por el artículo incluye el uso de una evaluación por histograma de la imagen, basada en el color o la intensidad de los píxeles en la imagen. Con sus picos y valles se divide la imagen por zonas, las cuales son colocadas luego en un grafo no vectorial, posteriormente se agrupa los píxeles de las zonas por su grado de similitud en clúster, se halla los  $n$  centroides de cada clúster y de estos se eligen  $x$  clúster aleatorios ( $n > x$ ) y se recalculan sus centroides

según este grupo hasta que los centroides de todos los clúster estén alineados y converjan, la limitación de este modelo no está en el caso que se evalué, sino en la cantidad de iteraciones que requiere para obtener ese resultado. Para solucionar este problema se usa la segmentación con el método del histograma, pero a pesar de eso si bien el algoritmo es mejor que la segmentación sola en los casos en los que se puede usar, estos casos son la minoría, contra todos los otros casos en donde la segmentación sola detecta y procesa las imágenes, por lo cual más investigación al respecto sería requerida para casos con ruido ya que el método de segmentación solo funciona mejor que el propuesto en general (Paris Beham et.al.).

Por ejemplo, en la Figura 2.3. se presentan cuatro diferentes tipos de imágenes donde se aprecian los diferentes tipos de imagen que se pueden manejar con este algoritmo.

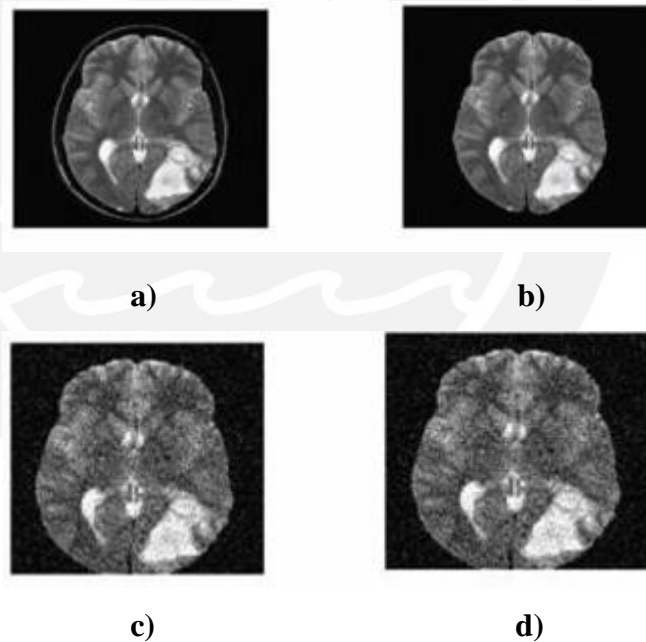


Figura 2.3. Diferentes imágenes médicas con características de presencia de ruido, donde el objetivo es detectar (segmentar) la presencia del tumor. (a) Imagen con anillo externo, (b) Imagen con remoción de tejidos craneales, (c) imagen con ruido y (d) imagen mejorada. (Paris Beham et.al.).

#### 2.2.4. Obtención de Imágenes usando un Algoritmo Interactivo Genético

Gracias al desarrollo rápido de tecnologías de información para la obtención de imágenes, se está proponiendo entre los investigadores el desarrollo de técnicas de obtención de imágenes basados en CBIR (*content based image retrieval*). Este algoritmo se centra en encontrar imágenes en una gran base de datos mediante sus atributos físicos, su forma, su color, textura o formas que lo conforman. Estos algoritmos suelen funcionar bien y de forma eficiente para imágenes simples pero esto se complica con imágenes más complejas y reales, para las cuales la segmentación, por lo cual su performance depende directamente de que tan rápido sea este algoritmo de segmentación.

La propuesta de este artículo es solucionar el problema planteado mediante técnicas de obtención de imágenes basados en CBIR que use además un algoritmo genético interactivo, el cual se diferencia del algoritmo genético normal en la definición de su función fitness, ya que esta la define ahora el usuario mediante una evaluación hecha por sí mismo en vez de usar una fórmula matemática, de forma que pueda elegir según su parecer los miembros que se van a reproducir en cada generación, permitiendo una evolución controlada de la población, esto se logra haciendo que el algoritmo infiera cuáles imágenes podrían ser de mayor interés para el usuario usando color, textura y borde. El flujo de dicho algoritmo se muestra de forma gráfica a continuación en la Figura 2.4.

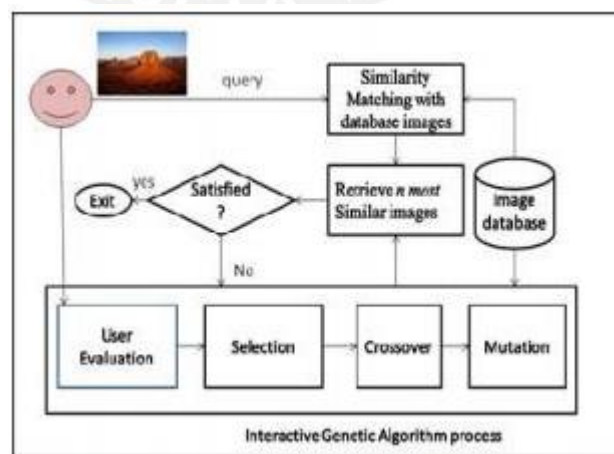


Figura 2.4 Propuesta de un sistema CBIR usando IGA con valor de inicio de usuario (Venkat Dass et al.2014).

Los resultados muestran una clara mejora en la eficacia del algoritmo con el método interactivo que con el método sin el algoritmo interactivo, probando la importancia de juicio de los diversos usuarios, sin embargo es lento en comparación a algoritmos actuales, pero podría tener potencial para lograr perfeccionar dichos sistemas, quizás mediante un sistema experto (Venkat Dass et al.2014).

### 2.2.5. *Fast Multiresolution Image Query*

El Fast Resolution Image Query es un algoritmo bastante rápido y efectivo para los problemas de detección de imágenes, también requiere poca cantidad de información almacenada para el procesamiento de cada imagen. Siendo su gran limitante para este método el tamaño de la base de datos de imágenes a procesar, se estimó que funciona de forma correcta para una base de 100 imágenes, pero tiende a fallar y dejar mucho procesamiento extra a realizar en el caso de bases de datos más grandes debido a que se basa en scores, es decir que según una imagen genérica base, se van comparando las imágenes escaneadas y la o las imágenes que tengan el mejor score, es decir mayor parecido con la imagen genérica serán devueltas como resultado; por eso a mayor base de datos mayor posibilidad de que el algoritmo devuelva un gran número de imágenes como resultado, efectivamente consiguiendo solamente reducir el número inicial de base de datos mas no hallando una solución. A continuación se muestra en la Figura 2.5 un ejemplo gráfico de lo planteado por el presente algoritmo (Charles E. Jacobs et al.2007).

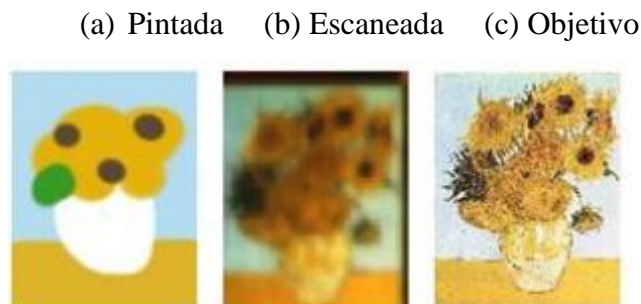


Figura 2.5 (a) Una imagen del modelo a buscar pintado desde memoria; (b) una imagen en donde se desea hallar el modelo esperado; y (c) Resultado esperado

### 2.2.6. Hierarchical clustering algorithm for fast image retrieval

Este tipo de algoritmo de image query se basa en detección escalable de imágenes por color representadas por histogramas locales de color, calculando las similitudes entre las imágenes según propiedades de color con el cual luego son agrupados por sus resultados de similitudes de colores. Esto permite discriminar a las imágenes relevantes para realizar la búsqueda de las que no y se repite de forma sucesiva hasta que se logra hallar el resultado esperado. Este algoritmo posee una eficacia que no decrece con el tamaño de la base de datos, debido a que el número de comparaciones requeridas para finalizar el algoritmo no crece en forma proporcional al tamaño de la base a procesar. En la figura 2.6 se muestra un ejemplo de agrupación de datos por clústeres (Santhana Krishnamachari).

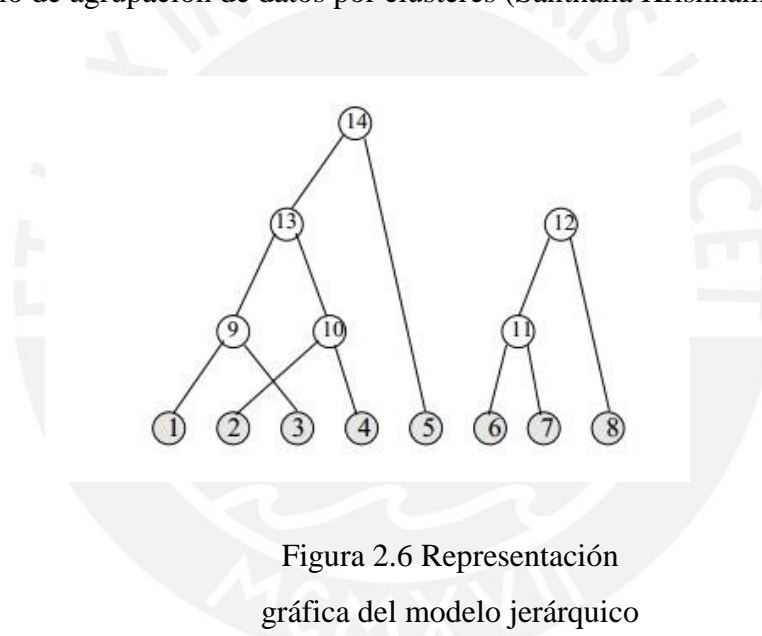


Figura 2.6 Representación gráfica del modelo jerárquico por clústeres

### 2.2.7. Conclusiones sobre el estado del arte

Puesto que el problema de la detección de imágenes en ambiente con ruido es de índole global, la revisión del estado del arte nos muestra que se cuenta con numerosas y diferentes alternativas de solución que pueden aplicarse a la realidad nacional para la prevención de la diabetes según el algoritmo que usemos, el cual en este caso será la segmentación debido a lo similar que son las imágenes de las plantas de los pies de una persona a otra y porque no se muestra que haya un

método que sea más eficiente y eficaz en la realidad actual.

También se muestra un gran potencial en los diversos caminos que los investigadores de diversas partes del globo terrestre, lo cual apuntara a nuevos y mejores algoritmos que los actuales combinando nuevos paradigmas con segmentación para mejorar su eficiencia sin afectar de forma negativa su eficacia o viceversa.



## Adquisición de Imágenes Termográficas

### 3.1. Introducción

En este capítulo se tratarán los resultados obtenidos para el primer objetivo específico. El primer objetivo específico consiste en la adquisición de una base de datos inicial de imágenes termográficas con ruido y sus contrapartes sin ruido a fin de poder ser utilizadas en la experimentación numérica para necesaria para cumplir los resultados del siguiente objetivo

### 3.2. Resultado1 para Objetivo1

En esta sección se incluye la base de datos de imágenes termográficas iniciales para la comparación de algoritmos. Esta consiste de una muestra de 10 pares de fotos de imágenes termográficas, cada par de un mismo pie entre ellos pero diferentes de los del resto; de forma que una foto conformante de un par sea una imagen con ruido y otra una imagen sin ruido del mismo pie, dichas imágenes se han procesado con un aplicativo de la empresa Flir a fin de remover los datos numéricos que no son de utilidad para el fin de esta tesis. El uso de las imágenes sin ruido es para tener un resultado ideal con el cual comparar la segmentación del algoritmo con ruido.

Las imágenes 3.1a y 3.1b son un ejemplo de las imágenes contenidas en nuestra base de imágenes (Ver Anexo A, para una mayor cantidad de imágenes). En la primera se aprecia la imagen de la planta de los pies de una persona con una alta presencia de ruido, mientras que en la segunda se tiene la imagen de la misma persona pero son ruido.

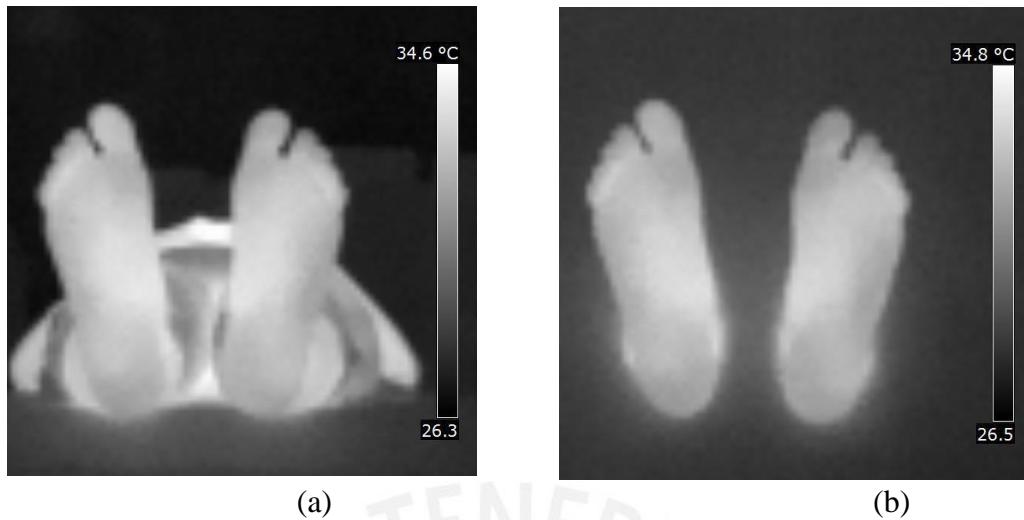


Figura 3.1. (a) Imagen IWS-1 con ruido y (b) Imagen IWS-1 sin ruido

Para efectos de tener mejores resultados, es importante que el proceso de adquisición de imágenes se realice bajo un entorno controlado, en la medida de lo posible, por ello que las imágenes iniciales de la base de datos del presente trabajo han sido obtenidas a través del siguiente procedimiento único: Se recuesta al voluntario sobre una superficie plana y acolchada, ubicando sus pies de forma que sobresalga de la mesa desde el tobillo, se posiciona la cámara termográfica sobre un trípode a una distancia de 50 cm de las plantas de los pies del voluntario y se apagan las luces; finalizando con la toma de la imagen con ruido, para obtener la imagen sin ruido antes de tomar la foto se debe introducir los pies del voluntario en una espuma rectangular a temperatura ambiente con 2 orificios de acuerdo al tamaño de los pies del voluntario de forma que bloquee del rango visual de la cámara el resto del cuerpo del paciente, obteniendo así una foto que comprende solo las dos plantas de los pies.

## CAPÍTULO 4

## Prototipo de Software de Segmentación de Planta de Pie

### 4.1. Introducción

En esta sección del documento se mostraran los resultados esperados por el objetivo 2, el cual consiste en desarrollar un prototipo de software que utilice el modelo algoritmico de segmentación de planta de pie. Este prototipo comprende diferentes etapas: Pre-procesamiento, segmentación y corrección. Todos estos procesos son realizados de forma automática, para lo cual se desarrollaron los respectivos algoritmos que son detallados en el presente capítulo. En la imagen mostrada a continuación se muestra de forma concreta el proceso que sigue el algoritmo para obtener la segmentación final en un entorno ruidoso.

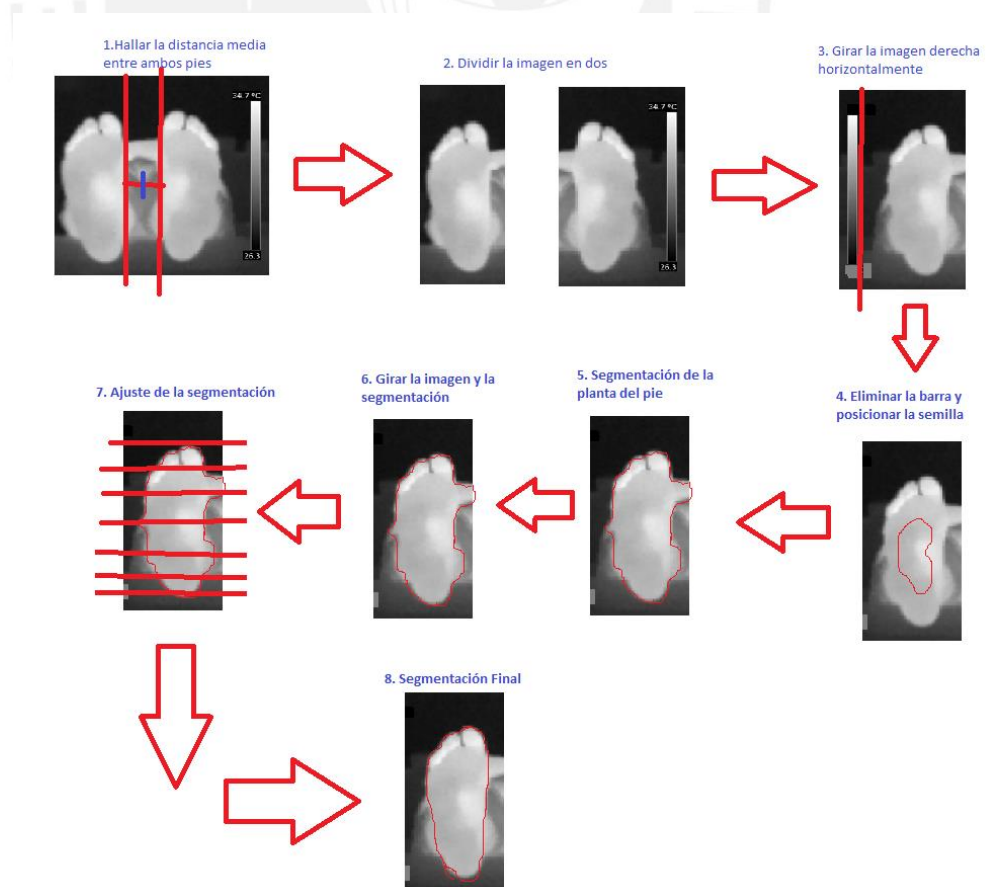


Figura 4.0 Proceso de segmentación

## 4.2. Pre-procesamiento de las imágenes

Las imágenes termográficas son tomadas por la cámara en una resolución de 600x600 píxeles en formato JPEG, la resolución de 600x600 es buena para determinar parámetros de la imagen a procesar. En este caso se utilizará para el ejemplo la Figura 4.1 como imagen a analizar.

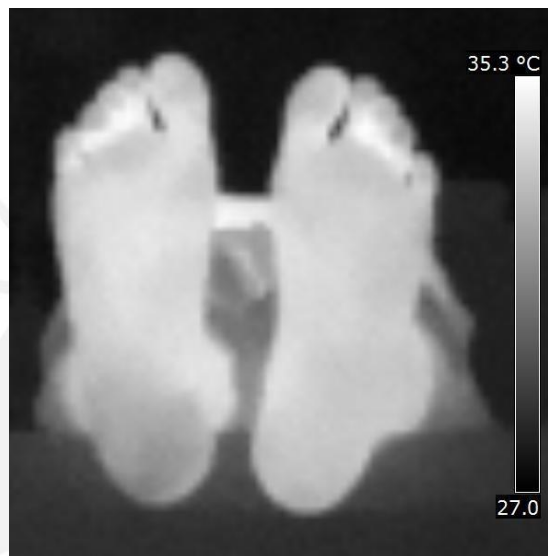


Figura 4.1, IR\_1119 (imagen con ruido)

Como se puede apreciar la imagen es tomada de forma que la barra de temperatura nunca cruce ninguna parte del pie, lo cual permite removerla con facilidad ya que siempre está en una coordenada fija. Para quitar los números de la temperatura sin modificar la distribución de píxeles en la imagen se sobrescriben con el valor promedio de píxeles de las áreas que los rodean, la imagen está contenida en una matriz de tamaño inicial 600x600 píxeles, después se reduce el tamaño de la misma para eliminar la barra, reduciendo el tamaño de la matriz y para eliminar los números se toma el promedio de los píxeles superiores e inferiores al área de la ausente barra y se reemplaza en la ubicación de los números, todo este proceso es automatizado y es parte del prototipo desarrollado, resultando en la siguiente imagen.



Figura 4.2, IR\_1119 (imagen con ruido con la barra removida)

Este es el momento óptimo en donde se puede obtener es el punto medio entre las dos plantas de los pies, para dividir una imagen con ruido por la mitad no se puede usar los métodos de histograma para determinar el punto medio como el mínimo valor de la curva ya que el cuerpo del paciente posee una temperatura que tiende a 1 por lo cual se distorsiona el histograma. Realizaremos una detección de los puntos más al sur de los talones de cada pie, hallamos la distancia en pixeles entre ellos y hallamos el punto medio de dicha distancia, punto a partir del cual se dividirá a la mitad la imagen en forma vertical, teniendo como resulta dos matrices de menor ancho, conteniendo cada imagen la región de un pie distinto, una el derecho y la otra el izquierdo, todo este proceso es automatizado y parte del prototipo desarrollado, paso siguiente se realiza la segmentación de cada nueva matriz en escala de grises.

### 4.3. Segmentación

Para este proceso se utilizan dos algoritmos *Iterative Closest Point (ICP)* y contorno Activo. Ambos hacen uso de la semilla, la cual fue obtenida mediante un procesamiento de un conjunto de imágenes de los pies realizando un promedio entre dichas imágenes y de ahí al resultado se le aplica una umbralización, obteniendo la semilla conformada únicamente por 1's y 0's, esta información es almacenada en una matriz bidimensional y es un parámetro que es una constante para el desarrollo. Esta semilla se posiciona en el centroide de cada imagen obtenida en el anterior paso.

Caso seguido se hace crecer la semilla de la siguiente forma:

- Se toma un margen anterior y otro posterior( los cuales son valores de dos variables de tipo double) igualmente distanciados del límite de la curva de la semilla(siendo la semilla una matriz bidimensional binaria de double) y se miran los pixeles que se hallan en dicho margen, se toman los valores que poseen los pixeles contenidos en dichos márgenes; mientras tengan mayor valor positivo promedio tengan los pixeles en los márgenes mayor es la velocidad de crecimiento de la curva en esa dirección, la cual también es una matriz que inicialmente tienen el contorno de la semilla sin relleno y que se deforma a medida que se dan las iteraciones, y a valores más cercanos a cero se reduce la velocidad.
- Este proceso actualmente se repite por un número predefinido de iteraciones. Al final de las cuales se obtiene la segmentación deseada.

Para un mejor entendimiento, a continuación se detalla cada uno de los algoritmos utilizados:

✓ *Iterative Closest Point (ICP)*:

Este algoritmo busca reducir la diferencia entre dos nubes de puntos minimizando los errores cuadráticos entre ambas nubes.

Es iterativo ya que se reconsideran las correspondencias entre las nubes a medida que se acerca al error mínimo local. Este método se puede usar solamente si se tiene un buen punto de inicio en anticipación a la ejecución del algoritmo, lo cual se cumple en este caso debido a que se usa la semilla con forma genérica de pie ubicada en el centroide de cada imagen de cada pie como punto de inicio desde donde se inicia el ICP.

En este caso el ICP recibe como parámetros dos nubes para cada pie, la primera que contiene la imagen del pie y la segunda la semilla alineada en el sentido del pie y ubicada en el centroide de la imagen anterior como punto de inicio. Para acelerar el procesamiento de la imagen esta se reducen a la mitad de su tamaño a fin de que el recorrido por la misma sea más corto sin distorsionar el resultado final.

Este algoritmo en adición realiza un refinamiento progresivo de los resultados en cada iteración y funciona de la siguiente forma.

- Por cada punto en la semilla del pie halla el punto más cercano a él en la imagen del pie, en este caso por lo explicado en la parte anterior los pixeles con valor más positivo son tomados con prioridad sobre los que poseen menor valor; es decir se toman los puntos más cercanos a la semilla desde la imagen de la planta del pie con los valores más positivos en el rango de cercanía establecido.
- Se estima la traslación y rotación necesarios de forma que la separación entre los dos puntos sea lo más cercana posible al error mínimo local, obteniendo una transformada aplicable a una curva cerrada.
- Se aplica la transformada obtenida en el punto anterior al contorno de la semilla, este contorno se define mediante Active Contour.
- Para finalizar se repite la misma operación hasta el número de iteraciones especificado.

A medida que el contorno de la semilla se acerca a los bordes externos a la planta del pie se reduce su crecimiento en esa dirección por lo cual no sufre distorsión considerable producto del número de iteraciones extra que se realicen sobre ella, esto se hace usando la matriz que define a la semilla y la matriz que almacena la imagen como parámetros de entrada. La velocidad de crecimiento también se da en función a un alfa mientras mayor sea el alfa, crece a mayor velocidad el contorno de la semilla en cada iteración (Chen, J et al.2014).

✓ Contorno Activo:

El contorno de la semilla se halla definido por este procedimiento. Este procedimiento se basa en evolucionar una curva dada ciertas restricciones, en este caso intensidad de pixeles, de tal forma que permita detectar la figura deseada en una imagen dada, en este caso las dos plantas de los pies en una imagen con ruido.

Para facilitar este proceso se rodea la zona en la que posiblemente podría estar el objeto a detectar con una curva cerrada, en este caso ubicar la semilla con forma genérica de la planta de los pies, que está representada por una matriz bidimensional de pixeles binaria, en el centroide de la imagen termográfica de un pie, representada por una matriz bidimensional en escala de grises, considerando la intensidad de los pixeles, de forma que este ubicada en la zona con mayor concentración de pixeles con valor positivo.

Para definir este modelo se sigue una noción matemática:

Sea  $u_0: \bar{\Omega} \rightarrow \mathbb{R}$  una imagen dada y  $C(s): [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}^2$  una curva parametrizada dentro de dicha imagen.

También se suele usar un detector de picos basados en la gradiente de la imagen  $u_0$  para mantener la suavidad de la

curva a lo largo de su crecimiento. Así el active contour (contorno activo) de la curva parametrizada  $C(s)$  sería  $J_1(C)$ , la cual se define de la siguiente forma.

$$J_1(C) = \alpha \int_0^1 |C'(s)|^2 ds + \beta \int_0^1 |C''(s)| ds - \lambda \int_0^1 |\nabla u_0(C(s))|^2 ds.$$

Donde  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\lambda$  son constantes positivas, de las cuales las dos primeras ayudan a regular la suavidad de la curva durante su crecimiento mientras que la tercera ayuda a atraer la curva a la imagen objetivo.

Para el detector de picos se utiliza la siguiente noción matemática: Sean los picos a localizar los puntos máximos de valor de  $|\nabla u_0|$  en cada punto de la curva. Entonces se puede definir esta función como una función  $g$  positiva y decreciente de forma que

$$\lim_{z \rightarrow \infty} g(z) = 0.$$

Así tendríamos

$$g(|\nabla u_0(x, y)|) = \frac{1}{1 + |\nabla G_\sigma(x, y) * u_0(x, y)|^p}, \quad p \geq 1$$

Donde  $G_0 * u_0$  es una versión más suave de la imagen  $u_0$ . Esta función  $g$  es positiva para regiones homogéneas y cero en los bordes, permitiendo crecer la curva de la semilla de forma suave y sin picos, evitando crecimientos abruptos y manteniendo una curva cerrada, se usa de forma automatizada en el proceso de segmentación sobre las matrices de las imágenes del contorno generadas por la segmentación (Tony F. Chan et al.2001).

✓ Extrapolación:

La alineación de la imagen y mosaicos se realizan generalmente en un conjunto de imágenes superpuestas, utilizando funciones en el área de superposición. En muchos casos este tipo de imágenes tienen diferente tamaño y forma. Así que tenemos que recortar panoramas o para utilizar extrapolación de imágenes para ellos. Este método se basa en encontrar un ejemplo (parche) de una imagen utilizando patrones binarios locales y reemplazar datos no existentes ('perdidos') con él. Proponemos utilizar varios criterios para una búsqueda de similitud de parches ya que muchas veces en la práctica existen métodos ejemplares base que producen resultados insatisfactorios. Los criterios para buscar la mejor coincidencia utiliza varios términos, incluyendo la métrica euclidiana del brillo de los píxeles e histogramas del Chi-cuadrado de las distancias de coincidencia para patrones binarios locales (Voronin, V et al.2014).

#### 4.4 Corrección de las regiones segmentadas

Después de obtener las imágenes segmentadas, estas se proceden a alinear en el eje vertical realizando una rotación desde el centroide de las regiones segmentadas, de forma que queden alineadas y se les añade las columnas necesarias a las segmentaciones de cada pie de forma que ambas matrices sean del mismo tamaño.

A continuación se realiza una corrección a las segmentaciones en función a la semilla original, para llevarla a cabo se escogen un número determinado de puntos, sesenta y cinco para el presente caso, que se tomaran como muestra de distancias horizontales de la semilla y de las segmentaciones de forma que sean equidistantes, luego se halla la proporción  $p$  entre las alturas de la segmentación y la semilla; se multiplica los valores del arreglo de diferencias de distancia obtenidos de la semilla por la proporción a fin de comparar las distancias entre cada arreglo. Para hacer la evaluación de diferencias se comienza a recorrer cada arreglo primero desde el inicio y luego desde el final, con lo cual se obtendrían las dos rectas

en las cuales están la diferencia entre la segmentación la semilla (para determinar si son diferentes se compara las distancias con una tolerancia de  $\pm 3$  píxeles).

A continuación se obtienen los puntos de corte en la segmentación por cada recta  $y_1$  y  $y_2$ , lo que resulta de cuatro puntos de coordenadas  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_1)$ ,  $(x_3, y_2)$  y  $(x_4, y_2)$ . Asimismo para la semilla se pone con valor cero a todos los valores de la matriz que están encima de la recta  $y_1$  y por debajo de la recta  $y_2$ , resultando en la curvas necesarias para mejorar la segmentación, se amplía el tamaño de la semilla utilizando el valor de  $p$ , de forma que la matriz de la semilla tenga aproximadamente el mismo tamaño que la imagen de la segmentación.

La semilla que contiene las dos curvas a separar se parte en dos imágenes, cada una conteniendo una curva respectivamente y se les aplica un algoritmo de thinning para poder moverlas a las posiciones deseadas con suma facilidad.

- ✓ *Thinning*: Es un tipo de algoritmo que busca hallar el esqueleto binario de una imagen, que se puede definir como la zona donde el centro de los círculos que se hallan dentro de la imagen deseada tocan los límites de la imagen en más de un punto. Existen diversas aplicaciones de este tipo de algoritmos en reconocimiento de patrones y análisis de imágenes médicas. En nuestro caso lo usamos para reducir el grosor de las curvas de las semillas al ancho de un píxel, sin perder el contorno que nos brinda la semilla, a fin de mejorar nuestra segmentación reemplazando partes de ellas con estas curvas. El algoritmo revisa las vecindades de cada píxel y busca el camino mínimo píxel a píxel tal que dicho píxel este incluida dentro de los límites de la curva inicial (parte con valor positivo de la imagen de la curva) y que el píxel sea un centro relativo de la curva en ese punto. (Davalle, D.,

Carnevale, B., Saponara, S., Fanucci, L., & Terreni, P.; 2015)

Luego de obtener las curvas del ancho de un pixel esta se mueven a sus respectivas coordenadas deseadas  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_1)$ ,  $(x_3, y_2)$  y  $(x_4, y_2)$ , mediante un proceso iterativo al final del cual ambas curvas quedan en su posición final y se suman teniendo como resultado las dos curvas correctamente ubicadas en la misma imagen.

Finalmente en la segmentación la región comprendida entre las rectas  $y_1$  y  $y_2$  es seteado con valor cero y la imagen con las dos curvas en posición llena con el valor uno todos los pixeles comprendidos entre las dos curvas; finalizando sumando ambas imagen, obteniendo la segmentación corregida.

Se multiplica recorriendo la matriz por completo la imagen de cada pie con su respectiva segmentación corregida obteniendo las imágenes que contienen las plantas de los pies.

A continuación se procede a realizar una diferencia punto a punto de los valores de los pixeles en ambas imágenes, resultando en una imagen que contiene los delta de temperatura punto a punto entre ambos pies con valores positivos y negativos, se calcula la temperatura promedio de esta nueva imagen obteniendo el delta de temperatura total entre ambos pies, el cual si es mayor que  $2.2^{\circ}\text{C}$  (Cajacuri, L.A.V., 2013) indicaría que el paciente corre un riesgo alto de desarrollar pie diabético.

## Experimentación y Resultados

## 5.1 Introducción

En esta sección del documento se mostraran los resultados esperados por el objetivo 3 y 4, el cual consiste en los resultados del procesamiento del software obtenido, así como el programa final, el programa realiza sus procesamientos de forma completamente automatizada.

## 5.2 Resultados

## 5.2.1 Interfaz de usuario

Al iniciar el aplicativo se mostrara la siguiente pantalla de inicio. Para elegir la imagen a procesar se hace clic en el botón Open.

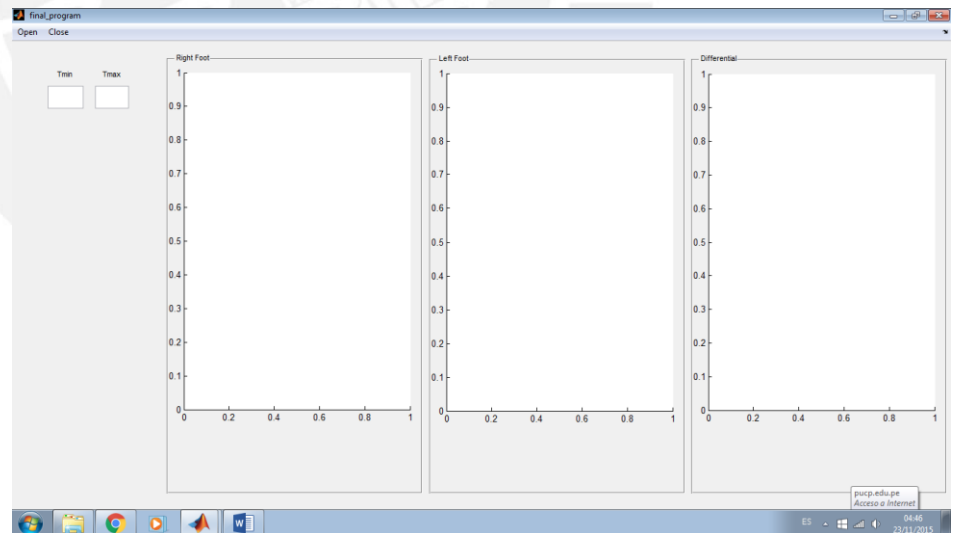


Figura 5.1, Menú de Inicio del aplicativo

Al dar clic en el botón “Open” se abrirá la siguiente ventana que permitirá elegir la imagen desde cualquier carpeta de nuestro ordenador.

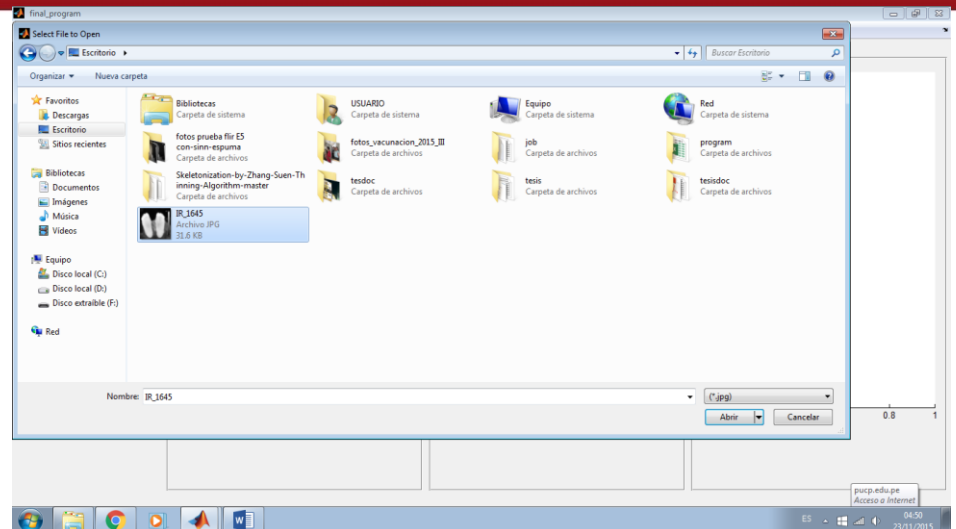


Figura 5.2, Pantalla de selección de imagen a analizar

Se selecciona la imagen y se da clic en Abrir, lo que te mostrara el siguiente mensaje de confirmación.

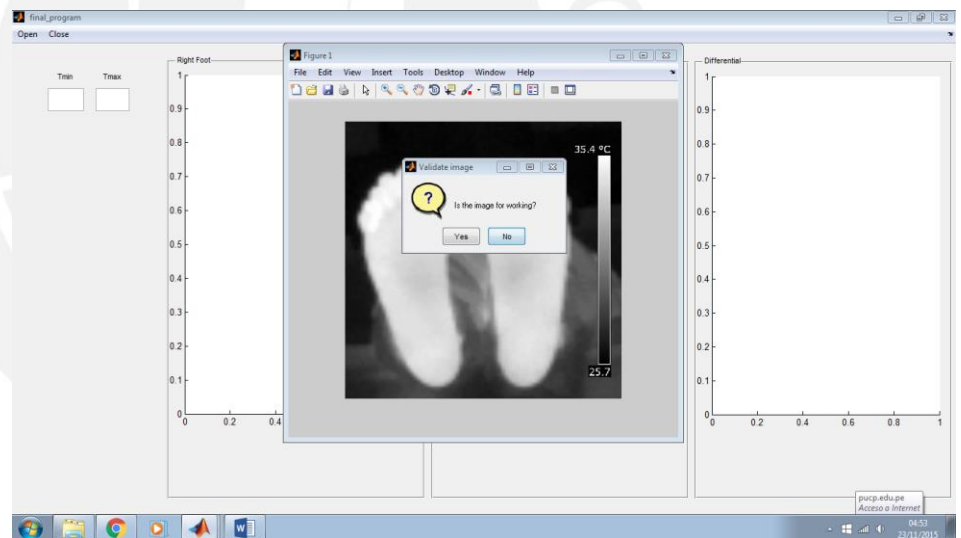


Figura 5.3, Mensaje de Conformidad de la imagen seleccionada

A lo que respondemos dando clic en el botón “Yes”, lo cual cierra la vista previa, asimismo ingresamos las temperaturas mínima y máxima que se hallan en la barra de forma manual en los textbox Tmin y Tmax respectivamente, siendo este el único input a mano que utiliza el software.

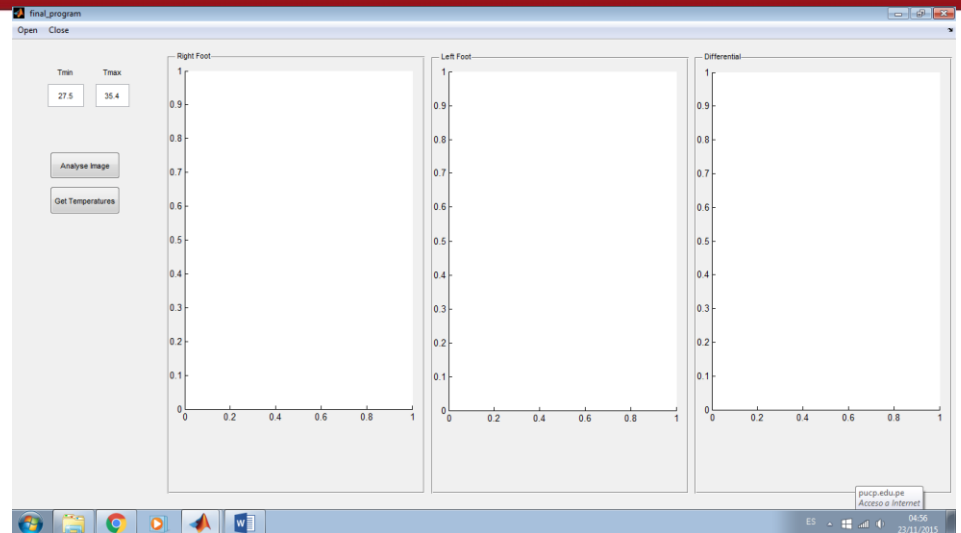


Figura 5.4, Se ingresa la temperatura mínima y máxima de forma manual

En caso no memorizar las temperaturas se usa el botón “Get Temperatures” que nos muestra la imagen seleccionada a procesar para poder verlas de nuevo.

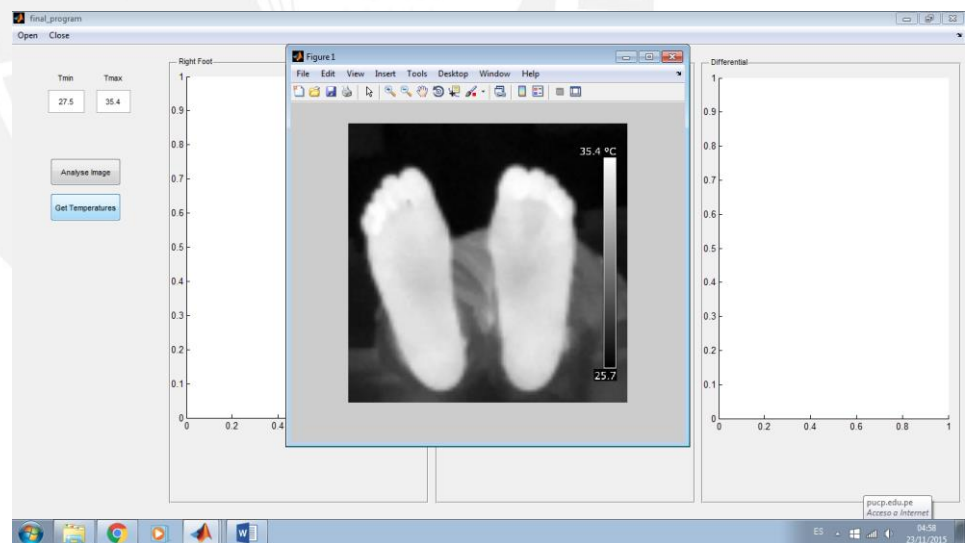


Figura 5.5, Pantalla mostrada al presionar el botón “Get Temperatures”

Para procesar la imagen damos clic al botón “Analyse Image”. Con lo cual se realiza el procesamiento y segmentación de las plantas de los pies de forma automática, mostrándonos el siguiente resultado.

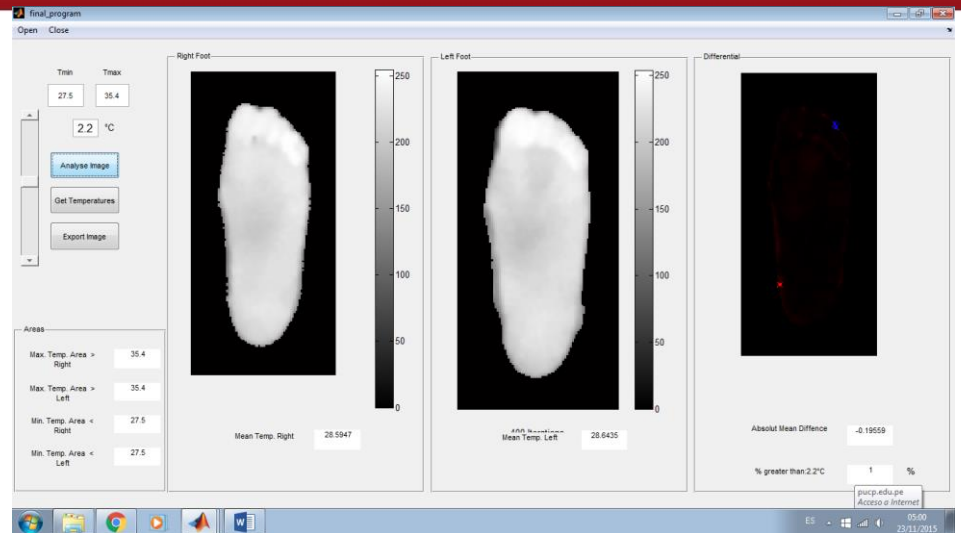


Figura 5.6, Resultado Final del Procesamiento de la Figura 5.1

Nos muestra la segmentación por separado de cada pie, derecho e izquierdo, así como la temperatura promedio de cada pie en grados Centígrados. Asimismo nos entrega además la imagen diferencial de ambos pies, lo cual es el resultado de la resta entre ambas segmentaciones de los pies, mostrando las zonas más calientes en color rojo y las más frías en negro, asimismo muestra pixeles resaltados en color azul y rojo intenso, estos indican las zonas donde existe diferencia de temperatura mayor a 2.2 °C, siendo los puntos rojos intensos las zonas donde el pie izquierdo posee más temperatura que el pie derecho y los puntos azules las zonas donde el pie derecho posee mayor temperatura que el pie izquierdo, indicando según los artículos anteriormente citados como zonas de riesgo de formación de llagas producto del pie diabético.

## 5.2.2 Resultados experimentales

IWS-1



Imagen Inicial



Imagen Procesada

Este ejemplo es para enfatizar la importancia del ángulo de la

cámara al tomar la imagen, esta es una de las primeras muestras obtenidas, como se aprecia en la imagen inicial el ángulo es tal que la perspectiva nos permite observar la temperatura corporal del abdomen y otras partes del cuerpo del voluntario, lo cual vuelve difícil distinguir la temperatura que pertenece a los pies de la del resto del cuerpo, produciendo una mala segmentación, por lo cual el ángulo se cambió para el resto de las imágenes. Resultados similares se obtendrían con personas con sobrepeso.

IWS -9

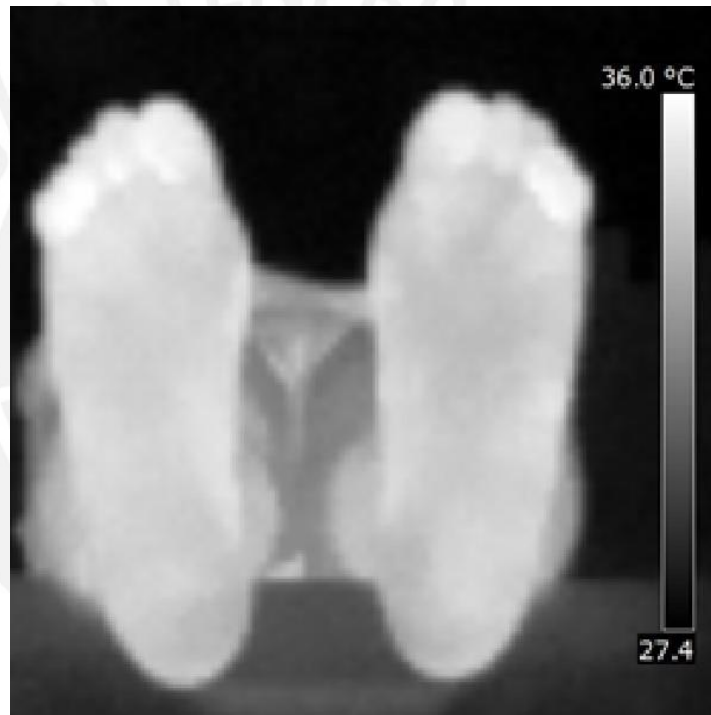


Imagen Inicial



Imagen Procesada

Como se observa en esta imagen a pesar de tener los pies en posición distinta a la vertical en 90 grados el programa lo endereza internamente y muestra ambos pies en la misma dirección con una buena segmentación de la zona deseada.

IWS-1096

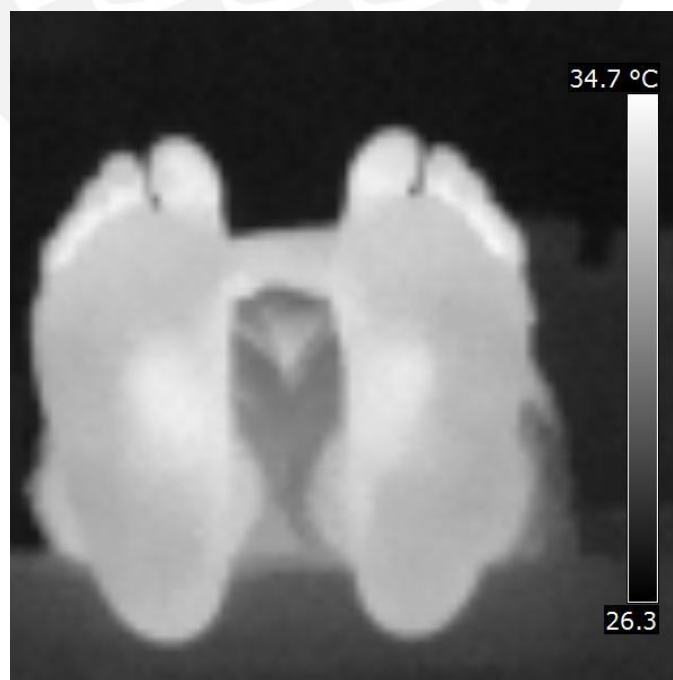


Imagen Inicial

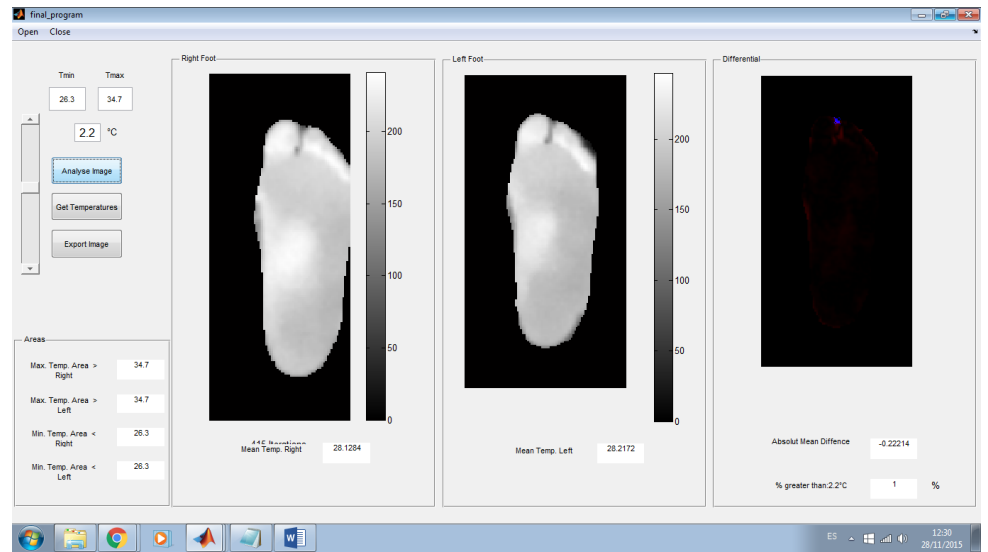


Imagen Procesada

Como se observa se obtiene una buena segmentación gracias, aunque la primera del pie derecho se muestra muy pegada al borde debido a la poca distancia entre el pie derecho y el borde de la foto en la imagen inicial por lo cual se recomienda que si bien los pies deben estar separados no deben estarlo hasta el punto de estar a una distancia mínima del borde.

IWS-1088



Imagen Inicial



Imagen Procesada

La alta temperatura en la imagen inicial de los pies ayuda al software a definir los pies a pesar de no estar inicialmente en la misma dirección y sobre todo a pesar de la clara diferencia de temperaturas presente en el ambiente en la parte superior de la misma.

IWS-1102



Imagen Inicial







Imagen Procesada

En esta imagen a pesar de estar los pies tan juntos se ha conseguido una buena segmentación gracias al buen contraste entre el pie y el fondo, aun así sería mejorable si los pies hubieran estado un poco más separados.

### 5.3 Comparación de Resultados

En esta sección le mostraremos la comparación de resultados entre una segmentación realizada por un experto y la segmentación realizada por el software.

Segmentacion manual del experto sobre segmentacion obtenida por el aplicativo	Segmentacion obtenida del aplicativo sobre la imagen original
	
Diferencia 8.19%	
	
Diferencia 3.77%	








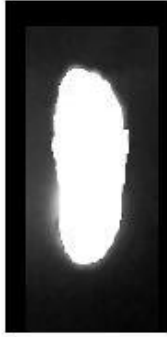
Diferencia 5.85%



Diferencia 1.69%



Diferencia 4.42%

	
Diferencia 3.72%	
	
Diferencia 3.44%	
	
Diferencia 4.79%	

En la imagen derecha se muestra el espacio que ocupa en cada pie la segmentación obtenida por el software; y en la imagen izquierda se observa la segmentación del experto sobre la segmentación de la realizada por el software. Como se observa no hay diferencias mayores entre ambas en los resultados para casos con ruido y sin ruido.

#### 5.4 Conclusiones

Los resultados son más favorables en pies con temperatura normal y en personas de contextura, normal y delgadas, con personas con sobrepeso, lo cual se simula en IWS-1, se dificulta la exactitud de los resultados, sería recomendable afinar el algoritmo para hallar curvas de reemplazo más pequeñas y mejorar el resultado final, se usó un tamaño de muestra de doce imágenes en total almacenadas en matrices de 600x600 pixeles obteniendo tres imágenes de 600x250, una para la segmentación de cada pie y una última con la diferencia de temperatura entre ambas.

## Conclusiones y Trabajos Futuros

### 6.1 Conclusiones

El método actual de software utilizado es eficaz para fotos de personas promedio de contextura normal a delgada, con personas con sobrepeso y con pies con anomalías de temperatura, el algoritmo pierde exactitud con su aplicación actual de corrección en la segmentación final, más aun así consigue resultados favorables en la mayoría de los casos analizados. Este es un buen camino para la segmentación de imágenes basado en análisis de píxeles.

Los parámetros de número de muestras de distancia horizontal y curva de la semilla deben ser diferentes para cada planta de pie (izquierda, derecha) puesto que cada uno puede presentar diferente ruido que no siempre se adecuará al otro pie.

### 6.2 Trabajos Futuros

A fin de mejorar la precisión del algoritmo actual se buscara realizar la corrección de la segmentación durante la misma, es decir en cada iteración a fin de evitar las grandes zonas de la segmentación que causan la inexactitud de la segmentación en los casos particulares lo cual mejoraría la precisión en gran medida del algoritmo así como permitiría un mayor número de iteraciones; asimismo aumentar el número de muestras de distancia entre puntos de la segmentación también puede llevar a resultados interesantes como una detección más exacta de los puntos de irregularidades y por ende a una mejor corrección de la segmentación en función a la semilla.

## Referencias bibliográficas

Seclén, S. (2015). Diabetes Mellitus en el Perú: hacia dónde vamos. *Revista Médica Herediana*, 26(1) ,3-4.

Botella, M., Rubio, J. A., Peláez, N., Tasende, C., Gomez, M. P., & Álvarez, J. (2015). Resultados a medio-largo plazo de pacientes con diabetes tipo1 remitidos a una consulta monográfica de bombas de insulina. *Avances en Diabetología*, 31(1) ,24-29.

Wacher, N. H., Gómez-Díaz, R. A., & Casas-Saavedra, L. P. (2014). Causas de descontrol metabólico en pacientes con diabetes en atención primaria en el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). *CI Rev*, 66(4),369-378.

American Diabetes Association. (2014). Diagnosis and classification of diabetes mellitus. *Diabetes Care*, 37(Supplement 1),S81-S90.

Chen, L., Magliano, D. J., & Zimmet, P. Z. (2012). The worldwide epidemiology of type 2 diabetes mellitus—present and future perspectives. *Nature Reviews Endocrinology*, 8(4),228-236.

Rakyan, V.K., Beyan, H., Down, T.A., Hawa, M.I., Maslau, S., Aden, D., & Leslie, R.D. (2011). Identification of type 1 diabetes-associated DNA methylation variable positions that precede disease diagnosis. *PLoS Genet*, 7(9), e1002300.

Lipsky, B.A., Berendt, A.R., Deery, H.G., Embil, J.M., Joseph, W.S., Karchmer, A.W., & Tan, J. S. (2004). Diagnosis and treatment of diabetic foot infections. *Clinical Infectious Diseases*, 39(7), 885-910.

Cajacuri, L.A.V. (2013). Early diagnostic of diabetic foot using thermal images (Doctoral dissertation, Université d'Orléans).

Moore, H. (2014). *MATLAB for Engineers*. Prentice Hall

Press. McKie, D., & Nash, J. (2014). Introduction to Microsoft Word2007.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2014). Ítems de referencia para publicar Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis: La Declaración PRISMA. Revista Española de Nutrición Humana y Dietética,18 (3),172-181.

Chen, J., & Belaton, B. (2014, January). An Improved Iterative Closest Point Algorithm for Rigid Point Registration. In Machine Learning and Cybernetics (pp. 255-263). Springer Berlin Heidelberg.

Voronin, V. V., Marchuk, V. I., Sherstobitov, A. I., Semenischev, E. A., Agaian, S., & Egiazarian, K. (2014, May). Image extrapolation for photo stitching using nonlocal patch - based in painting. In SPIE Sensing Technology+ Applications (pp. 91200W-91200W). International Society for Optics and Photonics.

Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. E. Digital Image Processing Using MATLAB.

Bergounioux M (2010). Mathematical image Processing. University of Orleans.

Parisa Beham and Gurulakshmi. Morphological image Processing approach on the detection of tumor and cancer cells (pp. 1-5). Vickram College of Engineering.

Venkat Dass, Mohammed Rahmath Ali y Mohammed Mahmood Ali (2014). Image Retrieval Using Interactive Genetic Algorithm (pp. 215-219). Osmania University, Chaitanya Bharathi Institute of Technology and Muffakham Jah College of Engineering & Technology.

Enrique Meléndez Herrada y colaboradores (2007). Diabetes mellitus: aspectos modernos de la problemática (pp. 121-124). UNAM

Charles E. Jacobs, Adam Finkelstein & David H. Salesin (2007). Fast

Multiresolution Image Querying. University of Washington.

Santhana Krishnamachari, Mohamed Abdel-Mottaleb. Hierarchical clustering algorithm for fast image retrieval. PhilipsResearch.

Tony F. Chan and Luminita A. Vese (2001). Active Contours Without Edges. IEEE Transactions on image processing, Vol. 10, No.2.

C. Christou (2008). Optimal Dither and Noise Shaping in Image Processing

Davalle, D., Carnevale, B., Saponara, S., Fanucci, L., & Terreni, P. (2015). A Real-Time FPGA-based Solution for Binary Image Thinning. In *Applications in Electronics Pervading Industry, Environment and Society* (pp. 169-174). Springer International Publishing.

MatLab. <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

Pontificia Universidad Católica del Perú. INF226 - Desarrollo de programas 1  
Clase 04 – Diseño de Experimentos.