

CARACTERIZACIÓN DE IMÁGENES EN LA REGIÓN ESPECTRAL DEL INFRARROJO PARA LA DETECCIÓN DE LESIONES EN MAMA

Osmond Abraham Zermeño Loreto Ing.¹, Dr. Eber Enrique Orozco Guillén²,
Dra. Carina Toxqui Quitl³, Dr. Alfonso Padilla Vivanco⁴ y Dra. Nildia Yamileth Mejias Brizuelas⁵

Resumen—Se presenta un análisis de termogramas mamarios en búsqueda de patrones térmicos anómalos que puedan estar ligados a lesiones mamarias destacadas por un incremento de temperatura del tejido afectado. Se propone un algoritmo de crecimiento de regiones para extraer el área de aquellas superficies de interés en la imagen térmica. Fueron capturados termogramas mamarios de 116 mujeres y tres hombres que participaron de manera voluntaria en el estudio. Las imágenes se capturaron con una cámara termográfica aprobada por la FDA (Federal Drug Administration) para uso médico. Los termogramas se clasificaron respecto a tres tipos de alertas relacionadas a la probabilidad de representar una lesión mamaria; alerta alta para termogramas con cambios de temperatura iguales o superiores a 3°C; alerta intermedia para cambios entre 1.5°C y 2.9°C; alerta baja para cambios inferiores a 1.5°C. De la población estudiada se encontraron nueve mujeres con alerta alta, 85 mujeres con alerta intermedia, así como 22 mujeres y 3 hombres con alerta baja.

Palabras clave—Termografía mamaria, Lesiones de seno, técnica no invasiva, cáncer de mama, procesamiento digital de imágenes, infrarrojo.

Introducción

Las lesiones en seno son más comunes de lo que se piensa, siendo la mayoría de estos cambios en el tejido lesiones benignas. Sin embargo, el cáncer de mama es un padecimiento que representa la segunda causa de muerte entre mujeres con cáncer y cada año se detectan más personas con la enfermedad. Los métodos de detección convencionales como la mastografía, emplean radiación ionizante y son empleados a partir de los 40 años de edad, pues en edades anteriores la alta densidad de tejido mamario enmascara las lesiones y aumenta la probabilidad de generar falsos positivos tal como indican Omranipour et al. (2016).

La termografía mamaria es una técnica no invasiva que permite la medición de temperaturas sin la necesidad de tener contacto con el paciente. Por lo que, es una técnica apta para el estudio del cuerpo humano en términos de temperatura. Dicha información es representada en una imagen bidimensional que contiene un mapa de las temperaturas del área analizada según Ng, E.Y.-K, (2009) y Zermeño Loreto et al., (2016).

Con la termografía es posible visualizar cambios de temperatura ligados a una lesión pues en dicha región aumenta el flujo sanguíneo y metabolismo para reparar el tejido. En el caso del cáncer de mama existen estudios que afirman que el tejido mamario cancerígeno presenta una elevación de temperatura por encima de los 3°C con respecto al tejido sano según Kwok y Krzyspiak (2007). Dicho incremento de temperatura es dado por el proceso de carcinogénesis asociado con la angiogénesis mediante los cuales el tumor cancerígeno recibe los nutrientes necesarios para su rápido crecimiento, tal como reportan Antonini (2011) y Etehad et al. (2010). Considerando que una célula cancerosa se duplica en un intervalo de 100 a 300 días, una neoplasia alcanza el tamaño de 1cm³ en un periodo 7 años, donde realizó alrededor de 30 duplicaciones según Brandan y Villaseñor (2006). De ahí la importancia de detectar este padecimiento en etapas tempranas para mejorar las oportunidades de recuperación de aquellas personas que lo padezcan. Existen estudios que afirman que la termografía puede detectar tumores de 10mm-30mm de diámetro por el incremento de temperatura antes mencionado por Kwok y Krzyspiak (2009).

¹ El Ing. Osmond Abraham Zermeño Loreto es Estudiante de la maestría en computación óptica en la Universidad Politécnica de Tulancingo en Tulancingo, Hidalgo. osmond.zermeño@upt.edu.mx (**autor correspondiente**).

² El Dr. Eber Enrique Orozco Guillén es Profesor en la Universidad Politécnica de Sinaloa en Mazatlán, Sinaloa, México. eorozco@upsin.edu.mx

³ La Dra. Carina Toxqui Quitl es Profesora en la Universidad Politécnica de Tulancingo en Tulancingo, Hidalgo, México. carina.toxqui@upt.edu.mx

⁴ El Dr. Alfonso Padilla Vivanco es Profesor en la Universidad Politécnica de Tulancingo en Tulancingo, Hidalgo, México. alfonso.padilla@upt.edu.mx.

⁵ La Dra. Nildia Yamileth Mejias Brizuelas es Profesora en la Universidad Politécnica de Sinaloa en Mazatlán, Sinaloa, México. nmejias@upsin.edu.mx.

Tan solo en el 2012 fueron registradas 522,000 muertes a nivel mundial por cáncer de mama según datos de la OMS (2012). En México, este tipo de cáncer es la principal causa de egreso hospitalario por tumores malignos en mujeres y a su vez la segunda causa de muerte entre las mujeres mayores de 20 años con cáncer según reporta el INEGI (2014).

La termografía mamaria ha sido aprobada por la FDA en Estados Unidos de América como un método no invasivo auxiliar en la detección de cáncer de mama según Arora et al. (2008) y Antonini (2011).

Para la detección oportuna del cáncer de mama los expertos recomiendan la exploración mensual a partir de la menarca, una mamografía cada año o dos a partir de los 40 años, según los factores de riesgo que tenga la persona. Y una vez alcanzados los 50 años se recomienda se haga anualmente sin excepción tal como se indica en el trabajo de Brandan y Villaseñor (2006). Sin embargo un estudio hecho en el 2014 con 1030 mujeres mexicanas de diferente estatus socioeconómico reportó que solo el 7.6% de mujeres de entre 40- 49 años con dos o más factores de riesgo se hicieron una mamografía de manera anual o bienal. En la población mayor a 49 años solo el 31.6% se había realizado una mastografía de manera anual. Entre las razones por las cuales no se hicieron los estudios pertinentes se encontró que el 1% no se realizó la mamografía porque no le agrada que le toquen los senos y el 3% no se realizó un estudio clínico por la misma razón. Aun así el mayor porcentaje de mujeres no se realizó estos dos estudios porque nunca se los han propuesto, siendo las cifras 73% para la mastografía y 83% para el estudio clínico, reportaron Lopez et al. (2014). Es evidente que el problema en este estudio fue la falta de información entre la población sin embargo confiamos en que la utilización de una técnica que no represente contacto o dolor alguno y además está libre de radiaciones ionizantes podría mejorar significativamente las cifras mencionadas.

Estado del arte de la termografía mamaria

El estudio de la termografía mamaria como herramienta en la detección de lesiones ha tomado bastante importancia a nivel mundial en los últimos años. De ahí que encontremos en la literatura información que si bien, no cataloga la técnica como un sustituto de los métodos actuales, la posiciona como una herramienta muy útil para investigación y detección temprana de lesiones mamarias (Omranipour et al. 2016).

Entre los artículos que comparan la termografía con otras técnicas, Omranipour et al. (2016) realizó una comparación de la exactitud de la termografía mamaria con la mastografía. En sus estudios analizó a 132 mujeres con rango de edad entre 24 y 75 años, quienes acudían al Instituto de Cáncer de Tehran, en Irán. Los termogramas obtenidos fueron categorizados con el sistema de Marseille como sistema de evaluación de riesgo además de realizar análisis puntuales y diferencias térmicas en la imagen. Cabe resaltar que los autores realizaron una toma de los termogramas a temperatura ambiente de 21°C y después la repitieron tras hacer una prueba de hielo. En sus resultados reportan que la mamografía tuvo una mayor exactitud en la detección de lesiones con 76%. Mientras que la termografía tuvo un 69.7%, aun así explican que la limitación de su estudio radica en la muestra reducida y la inclusión de casos extremos desfavorables para la termografía.

Comparando la termografía con la tecnología PET-CT, Kirubha et al. (2015) reportan un caso de estudio en el cual se hace el análisis de la imagen del cuerpo completa obtenida por PET y termografía mamaria. En el caso de los termogramas, realizaron segmentaciones de diferentes perfiles de temperatura por Clustering K-means en termogramas con falso color así como la extracción de características estadísticas e histogramas de ambos senos para determinar una simetría térmica. A la vez hizo una segmentación de masa anormal en la imagen PET usando el software MIMICS. Concluyeron que un patrón asimétrico en el perfil de temperatura del termograma puede ser una manera de aproximarse a la detección de cáncer de mama.

Arora et al. (2008) realizaron un estudio termográfico con 92 pacientes a los que se les había indicado por mamografía o ultrasonido la realización de una biopsia. Generaron 3 puntajes, uno general basado en factores de riesgo, un puntaje clínico generado por la información del paciente y un tercero realizado por análisis con una red neuronal artificial. Logro identificar 58 de 60 lesiones malignas con un 97% de sensibilidad, 44% de especificidad y 82% de predicción negativa. Concluyeron que la termografía infrarroja es un valioso estudio adjunto a la mastografía y ultrasonido especialmente en mujeres con tejido mamario denso.

Una manera de analizar los termogramas en la búsqueda de anomalías es medir la asimetría térmica de los senos, hacer una comparación de las características del seno izquierdo con el derecho, esto considerando que debe haber cierta simetría en ellos. Hairong Qi, et al. (2012) proponen dos algoritmos de clasificación de patrones, uno de aprendizaje no supervisado utilizando k-means y uno de aprendizaje supervisado usando kNN basado en extracción de características. Concluyeron que la extracción de características es una aproximación valiosa al estudio de la asimetría térmica mamaria.

Existen también otros enfoques al estudio de la técnica que utilizan análisis de componentes independientes para la detección automática de cáncer de seno, tal es el caso del trabajo de Boquete et al. (2012). Trabajaron

termogramas mamarios de una base de datos pública en escala de color arcoíris. Mediante el uso del espacio de color YCbCr, una segmentación manual de la región de interés, análisis de componentes principales y binarización por algoritmo de Otsu, lograron aislar en la imagen aquellas áreas correspondientes a tejido maligno en los termogramas previamente diagnosticados.

Para el análisis estadístico de las imágenes térmicas existen trabajos como el de Schaefer et al. (2009) donde se hace un estudio con características de histogramas y estadística básica como promedios, desviaciones estándar etc. Utilizan momentos de la imagen y una matriz de coocurrencia cruzada entre la distribución de temperaturas en el seno izquierdo y derecho, esto con la intención de extraer información como la energía, homogeneidad, contraste y simetría. Posteriormente la información es procesada con lógica difusa para clasificar los termogramas. Obtuvo una precisión del 80% en la clasificación de una base de datos de 150 casos.

Una vez establecida la potencialidad de la termografía mamaria para detectar lesiones en seno, el siguiente paso sería la estimación paramétrica de la lesión. Para esto, existen estudios como el de Hossain y Mohammadi (2016) que presentan una manera de abordar el problema realizando una simulación de termogramas con datos como la profundidad, tamaño y generación de calor metabólico de un tumor. Resolvieron la ecuación de calor biológico de Pennes y a su vez, diseñaron un algoritmo genético para parametrizar el tumor. También emplearon el método de elemento finito para simular conjuntos de datos y matrices de gradientes.

Métodos y materiales

Caracterización del sistema

En este tipo de estudios la certeza de que los datos que estamos adquiriendo son apropiados para el estudio es una prioridad. Para esto se hicieron pruebas con materiales que nos permitieran ver cambios de temperatura en los termogramas, para posteriormente analizarlos mediante un software desarrollado.

Considerando un tamaño de seno promedio de la población mexicana entre 14 y 16cm, se hace uso de una esfera de unicel de 20cm de diámetro que simule la forma del seno femenino. Se formó una fila de tachuelas metálicas a lo largo del meridiano de la esfera, las cuales reflejan la temperatura de los objetos que la rodean. Cada tachuela tiene en su superficie un círculo de pintura textil de 2mm de diámetro. Lo anterior con la intención de observar un tercer cambio de temperatura. En la Figura 1 se muestran imágenes en visible e infrarrojo de la esfera. Como se puede observar, es posible captar diferentes temperaturas a diferentes profundidades. Las características de la cámara térmica empleada en este experimento se listan en la tabla 1.

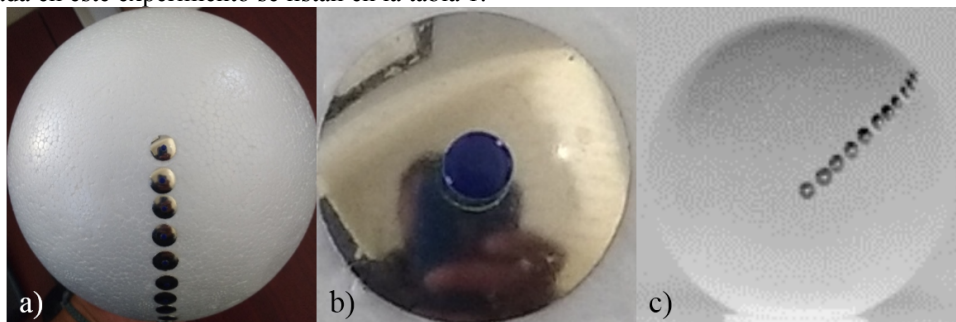


Figura 1 Objetos de prueba utilizados para la caracterización de la cámara, a) Esfera de unicel con tachuelas incrustadas, b) Acercamiento de la tachuela con gotas de pintura textil, c) Termograma del objeto de prueba.

Información técnica de la cámara termográfica	
Respuesta al Rango espectral	700nm-1400nm
Resolución de temperatura	0.027°C o menos según el software que se utilice para analizar las imágenes
Precisión en temperatura	+/-1°C
Resolución espacial	1.1mm a 1m e imágenes de 320x240 píxeles
Campo de visión	18°
Lente IR	25mm
Actualización de video	60hz
Software de adquisición de imágenes	IR flash Medical
Aprobación por FDA	Medical Device Clearence (510k)

Tabla 1. Especificaciones de la cámara termográfica.

La temperatura de la inmediación en la que se encontraban inmersos nuestros objetos de prueba fue controlada a un promedio de 14°C con un sistema de aire acondicionado convencional colocado directamente a nuestro experimento. En el inciso C de la Figura 1, podemos observar cómo se aprecian los cambios de temperatura hechos por dichos materiales a 1.5m de distancia de la cámara térmica.

Como resultado del análisis de los termogramas, se logró segmentar la región correspondiente a las tachuelas excluyendo las gotas de pintura textil con un umbral térmico $\Delta u = 3^\circ C$ por encima del promedio μ_{prom} . Si bien todas las tachuelas están por encima de dicha temperatura, es posible encontrar regiones que presenten temperaturas más elevadas. En la Figura 2 podemos observar un ejemplo de la segmentación y detección de los bordes de las regiones correspondientes a las temperaturas de interés. El procesamiento de los termogramas fue hecho con software propio cuyo funcionamiento se basa en la umbralización del termograma a una temperatura de interés para posteriormente extraer el borde de esa región y resaltarla en la imagen.

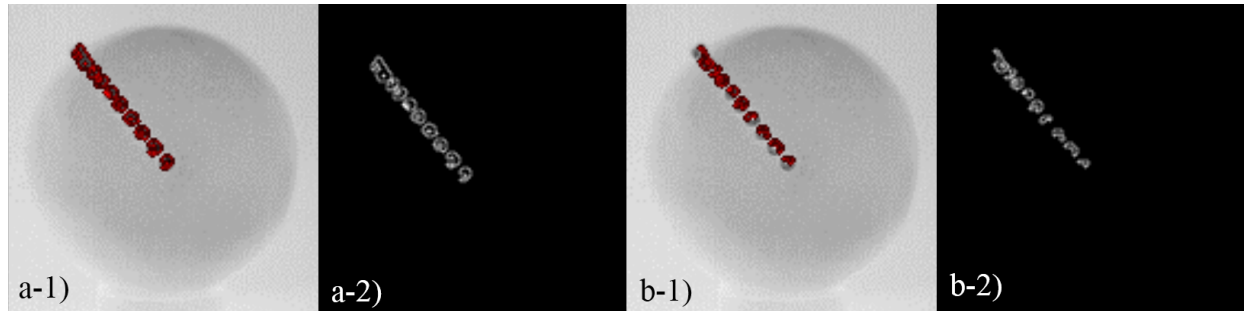


Figura 2. Termograma procesado para destacar temperaturas que correspondan a diferentes umbrales de temperatura por encima del promedio μ_{prom} , las regiones encerradas en color rojo corresponden a las temperaturas deseadas. a-1) Termograma con umbral $\Delta u = 3^\circ C$ y 228px de área, a-2) Bordes de la segmentación en a-1; b-1) Termograma con umbral de $\Delta u = 4^\circ C$ y 130px de área, b-2) Bordes de la segmentación en b-1.

Se calculó el área de las regiones resaltadas con la finalidad de tener una referencia concreta de que las regiones mostradas son diferentes en cada umbral. En las imágenes utilizadas para la caracterización se lograron registrar cambios de temperatura de $\Delta u = 0.01^\circ C$. La manera en cómo fue hecho el conteo de los pixeles se explica en la sección de análisis digital de los termogramas.

Análisis digital de los termogramas

Para destacar en el termograma aquellas regiones que se encuentran por encima de una temperatura deseada se utiliza el método descrito por Zermeño et al. (2016):

- A. El área de trabajo es segmentada binarizando la imagen térmica $t(x,y)$ con un umbral térmico Δu por encima del promedio corporal μ_{prom} .

$$f(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{si } t(x,y) \geq \mu_{prom} + \Delta u \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (1)$$

- B. Se utiliza el Laplaciano para extraer los bordes en $f(x,y)$,

$$g(x,y) = t(x,y) \mp \nabla^2 f(x,y) \quad (2)$$

donde,

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (3)$$

El Laplaciano tal como indican Gonzales y Woods (2002) es un operador derivativo isotrópico aplicado sobre una función imagen $f(x,y)$ de tamaño $M \times N$. Este operador es un detector de bordes que resalta las discontinuidades en los niveles de gris de una imagen y atenúa regiones con pequeñas variaciones en los niveles de gris. En la Figura 3 inciso a) se muestra un ejemplo de la imagen resultante $g(x,y)$.

El área de la región de interés (ROI) es calculada usando un algoritmo propuesto de crecimiento de regiones, cuyo pseudocódigo se describe a continuación:

1. Se definen las coordenadas del píxel sobre el que hizo clic el usuario $P_s = [x, y]$, donde $P_s \in ROI$.
2. Colocar un píxel semilla en las coordenadas P_s de una nueva imagen $r(x,y)$ del mismo tamaño que la imagen $f(x,y)$.

$$r(P_s) = 1$$

Iteración k

3. Dilatar $r(x, y)$ con un elemento estructural $B_{3 \times 3} = \vec{1}$ como,

$$r(x, y)_{k+1} = r(x, y)_k \oplus B$$

4. Eliminar información inexistente en la ROI,

$$r(x, y) = r(x, y) \cap f(x, y)$$

5. El área de la ROI es usada como criterio de paro del algoritmo

$$A_k = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{M-1} r_{x,y}$$

6. Detener el crecimiento de la región cuando $A_{k+1} = A_k$
7. Interseccionar nuevamente con la binarización original con la intención de abatir bordes suavizados

$$r(x, y) = r(x, y) \cap f(x, y)$$

8. Sumar el contenido de $r(x, y)$.

La necesidad de la doble intersección surge de la naturaleza del elemento estructural utilizado para la dilatación, pues este hace que todos los bordes crezcan excediendo el tamaño original de la región únicamente en un pixel. De tal manera que el algoritmo crecerá únicamente en partes de la región que estén conectadas inmediatamente con vecindad en 8 sin brincar a una región adyacente que esté separada por un pixel de distancia de nuestra región de interés. En la figura 3 podemos observar el resultado de utilizar el algoritmo mencionado para calcular el área de la región deseada.

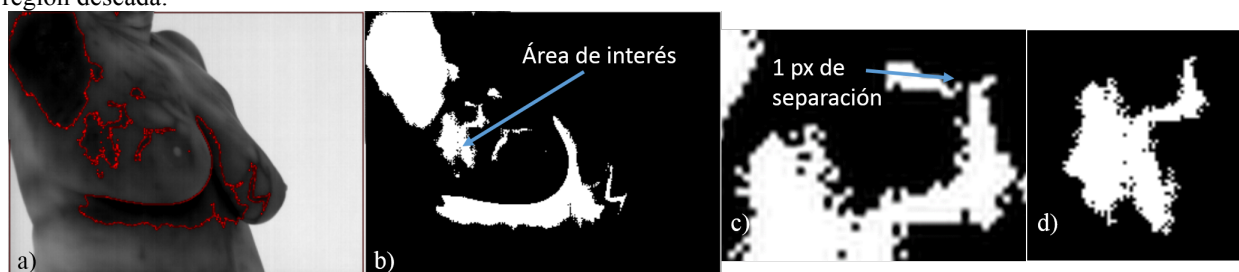


Figura 3. Extracción del área de interés de un termograma a) Termograma $g(x, y)$ con $\Delta u = 1^\circ C$, b) Binarización de temperaturas correspondientes al umbral deseado c) Acercamiento en $f(x, y)$ a regiones separadas un pixel entre ellas, d) Área total recuperada, 1097pxls.

Existen trabajos que aseguran que es necesario encontrar una correlación entre la temperatura de la superficie y las dimensiones biológicas de un tumor. Un tumor pequeño y profundo no siempre logrará hacer un incremento muy grande en la temperatura de la superficie como lo indica Hossain y Mohammadi (2016). Sin embargo, al utilizarse la termografía como un método de monitoreo, podemos obtener con certeza el crecimiento o disminución de la lesión al paso del tiempo y es ahí donde la contabilización del área cobra un mayor sentido.

Adquisición de termogramas mamarios

Se tomaron termogramas a 119 voluntarios de entre 18 y 78 años entre los que se encontraban tres hombres. La naturaleza no invasiva del estudio fue informada a los voluntarios así como que esta técnica no los exige de realizarse una mastografía. La adquisición de las imágenes fue hecha siguiendo los lineamientos de ética hospitalaria bajo supervisión médica en un dispensario.

Previo a la toma se sigue el método utilizado en el trabajo de Zermeño et al. (2016).

1. Informamos al voluntario las condiciones en las que debe presentarse al estudio, no usar sostén ajustado ni desodorante el día de la evaluación, no usar cosméticos corporales, no fumar ni beber alcohol al menos el día anterior.
2. Hacemos del conocimiento del voluntario la naturaleza del estudio y se le da a firmar su consentimiento.
3. Ingresamos al voluntario al consultorio y le pedimos que se quite la ropa superior para después esperar 10 minutos a que se equilibre su temperatura.
4. Se le informan las posiciones a tomar durante la captura.
5. Pedimos al voluntario que se ubique en el lugar correcto frente a la cámara.
6. Se hace la captura de los termogramas mamarios en dos series consecutivas.

La temperatura del ambiente fue controlada a 23°C. Esto con la intención de mejorar el contraste de aquellas zonas que tienen cambios de temperatura importantes.

Para el estudio, el voluntario tiene que adquirir 6 posiciones como se muestra en la figura 4, dos frontales (a y b) y 4 laterales (c, d, e, f). De esta manera se puede analizar toda la superficie que pertenece a la mama.

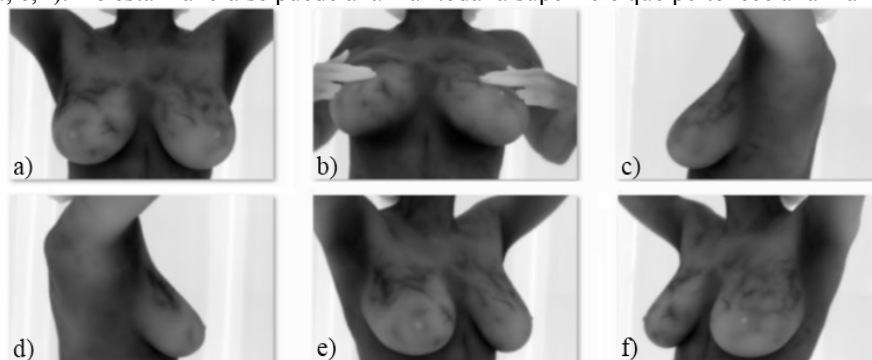


Figura 4. Posiciones para la adquisición de las imágenes, a) Frontal superior, b) Frontal inferior, c) Lateral izquierdo a 90°, d) Lateral derecho a 90°, e) Lateral derecho a 45°, f) Lateral izquierdo a 45°.

Los termogramas mostrados se encuentran en escala de grises inversa, lo cual al interpretar la imagen significa que los colores más oscuros son temperaturas más altas.

Análisis de los termogramas mamarios.

Se propuso categorizar a los voluntarios en tres grupos: A) con una alerta alta a aquellos que presentaran cambios de temperatura con $\Delta u \geq 3^\circ C$ respecto al promedio corporal μ_{prom} ; B) alerta intermedia aquellos con incrementos de temperatura en el rango $1.5^\circ C \leq \Delta u < 3^\circ C$; y C) alerta baja a quienes únicamente presentaran cambios que obedezcan a $\Delta u < 1.5^\circ C$. En la figura 5 se muestra el resultado del análisis sobre una de las voluntarias.

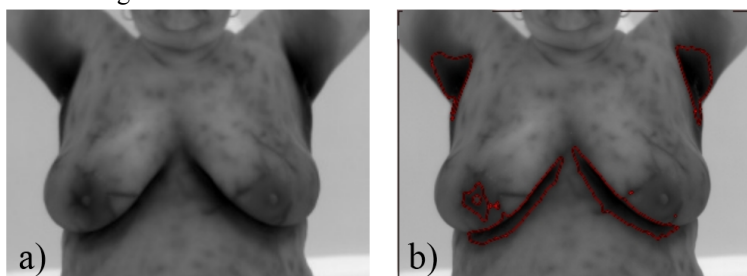


Figura 5. Imágenes resultantes del estudio de una voluntaria correspondientes a una alerta alta, a) Termograma original, b) Termograma $g(x, y)$ con áreas segmentadas con $\Delta u \geq 3^\circ C$ respecto al promedio corporal μ_{prom} .

A cada voluntario se le hizo llegar un reporte con los resultados de su análisis el cual incluía las imágenes originales y las procesadas así como la información pertinente para que un médico pudiera interpretar los resultados y determinar cuál era el siguiente paso en el diagnóstico de las voluntarias que presentaron alertas altas e intermedias. En el reporte, cada imagen analizada estaba acompañada del promedio corporal de la persona, el tipo de alerta que presentaba, la desviación de la temperatura promedio en el área destacada del termograma y la temperatura máxima de las zonas de interés como se muestra en la Figura 6.

Como se puede apreciar en la figura 6, se resaltan áreas fuera del seno de la persona principalmente debajo de las mamas, donde la temperatura se muestra muy por encima del promedio. Sin embargo, esta región al encontrarse fuera de la mama, no se toma en cuenta al momento determinar qué tipo de alerta arroja el análisis de cambios térmicos.

Resultados

Se analizaron 714 termogramas mamarios correspondientes a 119 voluntarios de los cuales 116 fueron mujeres y 3 hombres. Los reportes se hicieron llegar a un médico especialista para que determinara cuál es el siguiente paso en el diagnóstico de los voluntarios. Los resultados se desglosan en la tabla 2.

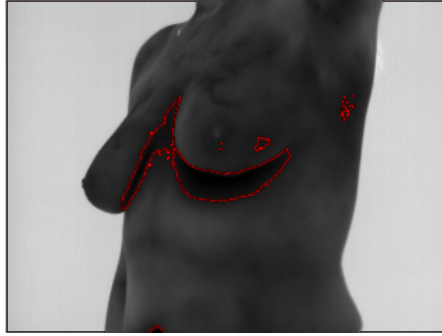


Figura 6. Termograma mamario $g(x, y)$ con alerta baja. Temperatura corporal promedio $\mu_{prom} = 32.15^{\circ}\text{C}$. Se muestra en la imagen áreas rodeadas de color rojo correspondientes a temperaturas mayores a $\Delta u = 1^{\circ}\text{C}$ con máximos de $\Delta u = 1.1^{\circ}\text{C}$ por encima de la temperatura corporal promedio.

Desglose de resultados obtenidos del análisis de las imágenes termográficas	
Probabilidad alta	9 mujeres
Probabilidad intermedia	85 mujeres
Probabilidad baja	22 mujeres y 3 hombres

Tabla 2. Resultados obtenidos de aplicar las técnicas de procesamiento digital de imágenes a los termogramas.

Como podemos observar en la Figura 7 los algoritmos de detección utilizados facilitaron de manera considerable el análisis de las imágenes pues es claro que de manera manual y a ojo no es sencillo discriminar en los diferentes termogramas aquellas regiones que representen un incremento de temperatura importante de aquellas que no. Esto debido a que en cada termograma el mismo color significará una temperatura diferente pues la calibración de la cámara se hace de manera automática con los datos del ambiente y de la persona.

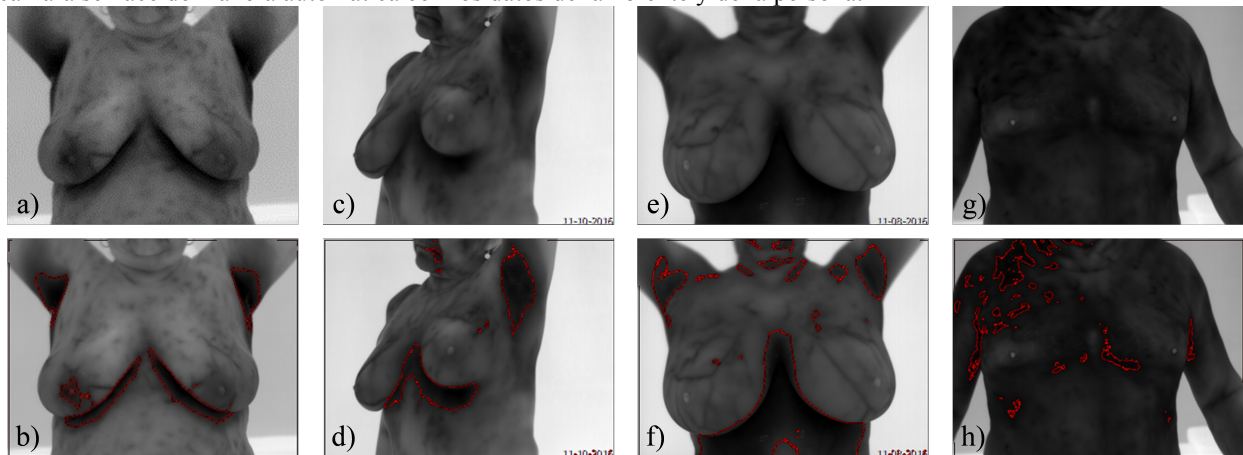


Figura 7. Comparación entre termogramas con alertas alta, intermedia y baja, a) Termograma $t(x, y)$ con alerta alta, b) Termograma $g(x, y)$ con alerta alta y área de la ROI de 380 píxeles, c) Termograma $t(x, y)$ con alerta intermedia, d) Termograma $g(x, y)$ con alerta intermedia, e) Termograma $t(x, y)$ con alerta baja, f) Termograma $g(x, y)$ con alerta baja, g) Termograma $t(x, y)$ de voluntario masculino, h) Termograma $g(x, y)$ de voluntario masculino con alerta baja.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

El análisis de las imágenes termográficas en los voluntarios ha permitido obtener como resultado, de acuerdo al criterio establecido, que consiste en la detección de cambios de temperatura con $\Delta u \geq 3^{\circ}\text{C}$, detectar 9 voluntarias con alerta alta, de las cuales, vale destacar, 2 eran menores de 40 años. De igual forma se registraron 85 voluntarias con diferencias de temperatura entre $1.5^{\circ}\text{C} \leq \Delta u < 3^{\circ}\text{C}$. Así como 22 mujeres y 3 hombres con incrementos de temperatura de $\Delta u < 1.5^{\circ}\text{C}$. Se realizó una compilación de las publicaciones importantes y recientes del estado del

arte de la termografía mamaria. Se desarrolló un algoritmo para contar el área de regiones específicas el cual pudo ser utilizado en la calibración del sistema. Es importante resaltar que del total de 119 personas voluntarias solamente el 7.6% presentaron diferencias de temperatura superiores a los 3°C con alta probabilidad de lesión, este resultado es significativo en vista de la cantidad de mastografías que se hacen anualmente. Con la técnica propuesta se podría reducir significativamente el número de mastografías y enfocar la atención para el diagnóstico y tratamiento solo en aquellos casos con elevada probabilidad de lesiones.

Conclusiones

El análisis de cambios térmicos es una herramienta valiosa para el estudio de termogramas, la implementación de estos de manera computacional facilita la obtención de la información relacionada con las temperaturas altas de los termogramas.

La naturaleza no invasiva de la termografía y el hecho que no tiene una restricción de edad ni tamaño de seno, nos permitió recopilar información de personas menores a 40 años así como de voluntarios masculinos.

Para la extracción de características como el área de una región térmica específica es necesario utilizar algoritmos que sean capaces de diferenciar regiones separadas por un pixel de distancia sin ignorar pixeles o generar información inexistente.

La importancia de la técnica consiste en la portabilidad de la misma, la facilidad con la que se puede implementar y llegar a un mayor número de personas especialmente mujeres y que esta se podría emplear como herramienta de tamizaje en zonas rurales y colonias populares donde un alto porcentaje de la población no cuenta con recursos para cubrir la mastografía.

Referencias

- Antonini S. "Thermography: is a new diagnostic method necessary for breast cancer detection?," *Periodicum Biologorum*, 113(4) 393-399, 2011.
- Arora N., Martins D., Ruggerio D., Tousimis E. Swistel A.J., Osborne M. P. y Simmons R. M. "Effectiveness of a noninvasive digital infrared thermal imaging system in the detection of breast cancer," *The American Journal of Surgery*, 196, 523-526, 2008.
- Boquete L., Ortega S. Jiménez J. M. M. "Automated Detection of Breast Cancer in Thermal Infrared Images, Based on Independent Component Analysis," *J Med Syst*, 36:103-111, 2012.
- Brandan M. E. y Villaseñor Navarro Y. "Detección del cáncer de mama: Estado de la mamografía en México," *Cancerología*, 1, 47-162, 2006.
- Etehad M., Sadri S., E. Y. K. Ng "Application of K- and Fuzzy C- means for color segmentation on thermal infrared breast images," *J Med Syst*, 34,35-42, 2010.
- Gonzales Rafael C. y Woods Richard E. *Digital Image Processing*, Second Edition, Prentice Hall, 2002.
- Hairon Qi, Teja Kuruganti P. y Snyder W.E. "Detecting Breast Cancer from Thermal Infrared Images by Assymetry Analysis," *Medical Infrared Imaging*, CRC Press, Capítulo 13, 2012.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía. "Estadísticas a propósito del día mundial contra el cáncer (4 de febrero) datos nacionales," *Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía* (en línea), 2014, consultada por internet el 17 de enero del 2017. Dirección de internet: www.inegi.org.mx.
- Kirubha A. S. P., Anburajan M., Venkataraman B. y Menaka M. "Comparison of PET-CT and thermography with breast biopsy in evaluation of breast cancer: A case study," *Infrared Physics & Technology*, 73 115-125, 2015.
- Kwok Jeni y Krzyspiak Joanna. "Thermal imaging and analysis for breast tumor detection," *Computer-Aided Engineering Applications to Biomedical Processes*, 2007.
- Ng. E. Y.-K. "A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor," *International Journal of Thermal Sciences*, 48:849-859, 2009.
- Lopez Carrillo L., Torres Sánchez L., Blanco Muñoz J., Hernández Ramirez R. U. y Marie Knaul F. "Utilización correcta de las técnicas de detección de cáncer de mama en mujeres mexicanas," *Salud Pública de México*, Vol. 56, no. 5, 2014.
- Omrani pour Ramesh, Kazemian Ali, Alipour Sadaf, Najafi Masoume, Alidoosti Mansour, Navid Mitra, alikhassi Afsaneh, Ahmadinejad Nasrin y Bagheri Khojasteh. "Comparison of the accuracy of thermography and mammography in the detection of breast cancer," *Breast Care*, Tehran University of Medical Science, 11:260-264, 2016.
- Schaefer G., Zavissek M. y Nakashima T. "Thermography based breast cancer analysis using statistical features and fuzzy classification," *Pattern Recognition*, 47, 1133-1137, 2009.
- Shazat Hossain, Farah A. Mohammadi. "Tumor parameter estimation considering the body geometry by thermography," *Computers in Biology and Medicine*, 76 (2016) 80-93.
- World Health Organization. "Globocan 2012: Estimated cancer incidence, mortality and prevalence worldwide in 2012," *International Agency of Research on Cancer* (en línea), 2012, consultada por internet el 17 de enero del 2017. Dirección de internet: <http://globocan.iarc.fr/Default.aspx>.
- Zermeño Loreto O.A., Orozco Guillén E.E., Valdiviezo Navarro, J.C., Olvera Lopez J.A., Castro Ramos J. "Desarrollo de un sistema de apoyo en la detección de cáncer de mama con imágenes termográficas y procesamiento digital de imágenes," *Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías*, 1:32-39, 2016.