

Resultados de termografía infrarroja en mujeres con sospecha de cáncer de mama

Aportación original
Vol. 64
Núm. 3

Infrared thermography outcomes in women with suspected breast cancer

Gabriela Aidee Luna-Patiño^{1a}, Gloria Patricia Sosa-Bustamante^{1b}, Dulce Lisbeth Ibarra-Morán^{1c}, Víctor Manuel Gallegos-Ríos^{2d}, José Alfredo León-Zamudio^{3e}, José Luis Felipe Luna-Anguiano^{4f}, Carlos Paque-Bautista^{1g}, Alma Patricia González^{1h}

Resumen

Introducción: el cáncer de mama (CM) es la causa más frecuente de muerte en mujeres de 40 a 75 años. Se ha propuesto la termografía infrarroja (TI) como examen no invasivo de utilidad en la detección del CM.

Objetivo: analizar los resultados de la TI en mujeres con sospecha de CM.

Material y métodos: estudio analítico, observacional, longitudinal y prospectivo. Se incluyeron mujeres ≥ 15 años con sospecha de CM, con BI-RADS (*Breast Imaging Reporting and Data System*) 4. Antes de tomar la biopsia, se midió la temperatura de las mamas mediante 2 sensores termográficos. Se registró el resultado histopatológico de la biopsia de mama y se clasificó como lesiones inflamatorias, mastopatía fibroquística, lesiones premalignas y lesiones malignas.

Resultados: se analizaron 104 mujeres, con BI-RADS 4A (64%), 4B (26%) y 4C (10%); se eliminaron 4 por pérdida en el seguimiento. La edad media fue de 47.7 ± 12.2 años. Del total, 14% mostró lesión palpable y la mama derecha fue la más afectada (56%). La lesión maligna más frecuente fue el carcinoma ductal (11%). El punto de corte para lesión maligna de $TI \geq 33.4$ °C mostró sensibilidad de 0.69, especificidad de 0.63, área bajo la curva (AUC) = 0.65 (intervalo de confianza del 95% [IC 95%] 0.45-0.79), $p = 0.03$; con razón de momios (RM) = 4.16 (IC 95% 1.23-14.09), $p = 0.01$.

Conclusión: los resultados de la TI mostraron sensibilidad y especificidad moderadas para lesiones malignas. El punto de corte ≥ 33.4 °C mostró un riesgo mayor de 4 veces para malignidad.

Abstract

Background: Breast cancer (BC) is the most common cause of death in women aged 40 to 75 years. Infrared thermography (IT) has been proposed as a noninvasive test useful in the detection of BC.

Objective: To analyze the results of IT in women with suspected BC.

Material and methods: An analytical, observational, longitudinal, and prospective study was conducted. Women aged ≥ 15 years with suspected BC were included, with BI-RADS (*Breast Imaging Reporting and Data System*) 4. Prior to the biopsy, breast temperature was measured using 2 thermographic sensors. The histopathological results of the breast biopsy were recorded and classified as inflammatory lesions, fibrocystic breast disease, premalignant lesions, and malignant lesions.

Results: A total of 104 women were analyzed, with BI-RADS 4A (64%), 4B (26%), and 4C (10%), and 4 were eliminated due to loss to follow-up. Mean age was 47.7 ± 12.2 years. 14% of cases showed a palpable lesion, with the right breast being the most affected (56%). The most common malignant lesion was ductal carcinoma (11%). The IT cutoff point for malignant lesion ≥ 33.4 °C showed a sensitivity of 0.69, specificity of 0.63, area under the curve (AUC) = 0.65 (95% confidence intervals [95% CI] 0.45-0.79), $p = 0.03$; with an odds ratio (OR) = 4.16 (95% CI 1.23-14.09), $p = 0.01$.

Conclusion: The results of the IT showed moderate sensitivity and specificity for malignant lesions. The cutoff point ≥ 33.4 °C showed a 4-fold increased risk for malignancy.

¹Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional del Bajío, Hospital de Gineco Pediatría No. 48, Dirección de Educación e Investigación en Salud. León, Guanajuato, México

²Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional del Bajío, Hospital de Gineco Pediatría No. 48, Servicio de Ginecología Oncológica. León, Guanajuato, México

³Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional La Raza, Hospital de Gineco Obstetricia No. 3, Dirección de Educación e Investigación en Salud. Ciudad de México, México

⁴Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional del Bajío, Hospital de Gineco Pediatría No. 48, Dirección General. León, Guanajuato, México

ORCID: 0009-0007-4544-2645^a, 0000-0002-8460-4965^b, 0009-0005-3162-4371^c, 0009-0004-7115-3474^d, 0000-0001-6669-5034^e, 0000-0003-3739-8334^f, 0000-0002-2658-0491^g, 0000-0002-3401-7519^h

Palabras clave

Densidad de la Mama
Mamografía
Termografía
Neoplasias de la Mama

Keywords

Breast Density
Mammography
Thermography
Breast Neoplasms

Fecha de recibido: 03/10/2025

Fecha de aceptado: 05/01/2026

Comunicación con:

Alma Patricia González

patipili999@gmail.com

477 717 4800, extensión 31804

Cómo citar este artículo: Luna-Patiño GA, Sosa-Bustamante GP, Ibarra-Morán DL, et al. Resultados de termografía infrarroja en mujeres con sospecha de cáncer de mama. Rev Med Inst Mex Seguro Soc. 2026;64(3):e6888. doi: 10.5281/zenodo.18715353

Introducción

El cáncer de mama es el más frecuente en mujeres de 40 a 75 años.¹ En México, se considera que es la neoplasia más común como causa de muerte por enfermedad maligna: 14.8 casos nuevos por cada 100,000 personas, con punto máximo de presentación en el grupo de 60 a 64 años.² Se estima que una de cada 12 mujeres desarrollará alguna anomalía mamaria a lo largo de su vida.³ Por lo tanto, la detección temprana de cáncer de mama tiene un impacto significativo en la reducción de la mortalidad.⁴ La tasa de supervivencia a 5 años en los países en desarrollo ronda entre 50 y 60% debido a la detección tardía.⁵ Un examen médico exhaustivo es fundamental debido a que el cáncer de mama puede presentarse de diversas formas; es así que la detección temprana y los controles periódicos son cruciales para reducir la mortalidad. Las herramientas de tamizaje mamario más utilizadas son el examen clínico mamario y la mastografía.⁶

Entre diversas variables, el costo de la mastografía se ha reportado como la principal barrera para el acceso a la atención médica, asociado con no haberse realizado una mastografía en los 2 años anteriores; otro obstáculo reportado en mujeres más jóvenes ha sido la exposición a la radiación.⁷

Una técnica alternativa descrita para el tamizaje de detección de cáncer de mama es la termografía infrarroja (TI), método que mide la temperatura de la superficie mamaria mediante la identificación de la radiación infrarroja, es decir, energía térmica que emite la mama. Se ha evaluado la aplicación médica de imágenes infrarrojas que van desde detección de anomalías en diversos órganos del cuerpo humano hasta la detección de tumores malignos.⁸

La TI es un estudio no invasivo en el tamizaje de cáncer de mama que mide la temperatura de la glándula mamaria y proporciona información térmica respecto a la distribución de la temperatura, los gradientes y patrones de calor, así como información de la localización o características térmicas generalizadas que resultan de utilidad en la detección del cáncer.⁹

La teoría de la TI mamaria supone que el tejido mamario está libre de procesos anormales que emiten patrones de calor predecibles en la superficie de la piel; cuando los procesos fisiológicos se alteran, se detectan cambios metabólicos y vasculares, bajo el concepto de que las células neoplásicas requieren de oxígeno para su crecimiento, lo que aumenta el flujo sanguíneo hacia la tumoración. De esta manera, se identifica el estado fisiológico funcional de una zona corporal determinada y se reporta como normal (negativo) o anormal (positivo).¹⁰

La TI es un procedimiento relativamente sencillo, accesible e indoloro. La cámara no genera ninguna emisión, además de que no genera radiación; asimismo, hay baja probabilidad de riesgo de daños a estructuras celulares frágiles. Puede permitir la detección temprana de cáncer de mama, incluso en mujeres con tejido mamario denso.¹¹

La mastografía es una de las herramientas más empleadas para el tamizaje de cáncer de mama y la biopsia mamaria es el método estandarizado para confirmar el diagnóstico; la TI podría ofrecer precisión prometedora en los casos de sospecha de cáncer de mama, con ventajas como bajo costo, portabilidad y carácter indoloro,¹² por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar la sensibilidad y la especificidad de la TI como prueba diagnóstica, en mujeres con sospecha de cáncer de mama y previo a la toma de biopsia.

Material y métodos

Estudio analítico, observacional, longitudinal y prospectivo, realizado en la Unidad Médica de Alta Especialidad Hospital de Gineco Pediatría No. 48, del Centro Médico Nacional del Bajío (Instituto Mexicano del Seguro Social, IMSS), en León, Guanajuato, México. Se incluyeron mujeres ≥ 15 años con sospecha de cáncer de mama catalogadas con clasificación de BI-RADS (*Breast Imaging Reporting and Data System*) 4 (BI-RADS 4A con baja sospecha de malignidad, BI-RADS 4B sospecha intermedia y 4C alta sospecha de malignidad).¹³ No se incluyeron pacientes en puerperio fisiológico/quirúrgico que hubieran realizado ejercicio físico 2 horas antes del estudio, ni aquellas que hubieran fumado una hora previa al estudio. Se consideraron como criterios de exclusión a pacientes con datos incompletos en expediente y a las pacientes que decidieran no continuar en el estudio.

Se registraron datos como edad, escolaridad, ocupación, estado civil y religión; peso, talla e índice de masa corporal (IMC).

Las mastografías se realizaron con mastógrafo modelo *Giotto Class Tomosintesis, Remsa*[®]; los resultados fueron obtenidos del Servicio de Radiodiagnóstico Especializado en Patología de Mama.

El estudio se realizó en un consultorio a temperatura ambiente (25 °C), sin flujo de aire directo a la paciente, lejos de instrumentos emisores de calor y sin prendas de ropa u objetos metálicos sobre el cuello y tronco. Se posicionó a la paciente en decúbito dorsal con los brazos en abducción. Se colocaron 2 sensores a 5 cm de distancia: el sensor A, con una cámara (MLX90640 GY-906 THERMAL

CAMERA[®]) que tomó el registro de TI, que consistió en una evaluación en un solo plano de ambas mamas en diferentes ángulos; el sensor B hizo el registro de la temperatura corporal de las mamas para discriminar la presencia de zonas sospechosas de malignidad de acuerdo con las imágenes termográficas. La interpretación se realizó mediante una cámara térmica con el programa *ARDUINO IDE Link*[®] para categorizar la imagen por medio de color y vascularización. Una vez realizada la TI, se interpretó el reporte como normal (negativo) o anormal (positivo).

Posteriormente, el médico tratante llevó a cabo la biopsia y se obtuvo el resultado histopatológico con el que se confirmó o descartó cáncer de mama. La clasificación histopatológica se hizo en apego al sistema del *American Joint Committee on Cancer*, para su estadificación, la letra T describió el tamaño tumoral y su esparcimiento a tejido cercano; la letra N reportó las metástasis a ganglios linfáticos, y la letra M, las metástasis a tejidos locales o a distancia.¹⁴ Además, las lesiones mamarias se categorizaron en 4 grupos, de acuerdo con los resultados histopatológicos: 1) inflamatorio (adenosis, ectasia ductal, mastitis aguda severa, papilomatosis intraductal, mastitis linfocitaria, fibroesclerosis, proliferación fibroepitelial y mastitis crónica granulomatosa); 2) mastopatía fibroquística (fibroadenoma); 3) lesiones premalignas (hiperplasia ductal, microabscesos, tumor filoides, metaplasia apocrina e hiperplasia linfocitaria con patrón folicular), y 4) lesiones malignas (cáncer ductal y cáncer mucinoso).

Tamaño de muestra

Se calculó el tamaño de muestra, con base en los resultados del estudio publicado por Kakileti *et al.*,¹⁵ mediante la calculadora estadística disponible en <https://sample-size.net/compare-tests-mcnemars-test/> con prueba McNemar para comparación entre pruebas diagnósticas, se consideró alfa de 0.05, beta de 0.20, sensibilidad de la prueba T0 de 82% y sensibilidad de la prueba T1 de 96%; se obtuvo un total de 104 pacientes.

Análisis estadístico

Las variables cualitativas se expresaron como frecuencias y porcentajes; se compararon los grupos mediante la prueba de chi cuadrada, de acuerdo con la frecuencia de las variables. A las variables cuantitativas se les aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov; cuando presentaron distribución normal, se expresaron con media y desviación estándar, y aquellas que tuvieron libre distribución con mediana y rangos intercuartílicos; se utilizó la prueba de ANOVA para la comparación de 3 o más grupos y prueba *post-hoc* de Tukey. Finalmente, se llevó a cabo

la determinación de sensibilidad, especificidad, razón de verosimilitud (LR+ y LR-) y área bajo la curva (AUR) de la TI con respecto al estándar de oro que fue el resultado histopatológico mediante la curva ROC. Se consideró significación estadística con un valor de $p < 0.05$. Se utilizaron los paquetes estadísticos NCSS 2024 y Epidat 3.1.

Aspectos éticos

El estudio se consideró como estudio con riesgo mínimo de acuerdo con el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, artículo 17. Se solicitó el consentimiento y asentimiento informados en los casos pertinentes de acuerdo con la edad de las participantes. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética para la Investigación y el Comité Local de Investigación en Salud 1002, con número de registro R-2024-1002-018.

Resultados

Se incluyeron 104 pacientes, se eliminaron 4 participantes por falta de seguimiento, por lo que se analizaron 100 mujeres en el estudio. Las características demográficas y clínicas de las pacientes analizadas se muestran en el cuadro I.

Se identificó que el 24% de las pacientes presentó una lesión palpable por autoexploración; en la valoración clínica de la patología mamaria, la mama con mayor afectación fue la derecha (56%). En la clasificación de BI-RADS, BI-RADS 4A se presentó en 64%, seguido del 4B en 26%, y finalmente, el 4C en 10% de casos.

La comparación de las características ginecoobstétricas de acuerdo con el grado de BI-RADS, se muestra en el cuadro II.

El resultado histopatológico obtenido de la biopsia de mama se clasificó de acuerdo con las categorías del BI-RADS y se encontró un mayor porcentaje de fibroadenoma, seguido de hiperplasia ductal sin atipia y adenosis (cuadro III).

Se identificó con mayor frecuencia que los reportes con resultado histopatológico benigno correspondieron a BI-RADS 4A, de forma significativa (cuadro IV).

Al comparar la temperatura de las mamas izquierdas de acuerdo a lesiones palpables ($n = 10$) o no palpables ($n = 18$) mediante TI, se encontró mayor temperatura en las lesiones palpables 34.35 (33.3-35.1) frente a 32.4 (31.7-33.4) °C, $p = 0.01$; al analizar la comparación por el resultado histopatológico como benigno o maligno, no

Cuadro I Características demográficas y clínicas de la población de estudio

Variables	<i>n</i> = 100
	Media ± DE
Edad (años)	47.7 ± 12.27
IMC (kg/talla ²)	29.4 ± 5.6
	Mediana (RIC)
Peso (kg)	70 (63-78)
Talla (m)	1.55 (1.52-1.60)
	<i>n</i> (%)
Clasificación de peso por IMC	
Bajo peso	2 (2)
Normal	20 (20)
Sobrepeso	33 (33)
Obesidad	45 (45)
Antecedentes familiares de CM	20 (20)
Escolaridad	
Sin estudios	1 (1)
Primaria	16 (16)
Secundaria	52 (52)
Preparatoria	13 (13)
Carrera técnica	3 (3)
Licenciatura	14 (14)
Posgrado	1 (1)
Empleada	47 (47)
Estado civil	
Casada	62 (62)
Soltera	14 (14)
Divorciada	10 (10)
Viuda	9 (9)
En unión libre	5 (5)
Religión	
Ninguna	1 (1)
Católica	95 (95)
Cristiana	4 (4)
Toxicomanías	13 (13)
Exposición a biomasa	13 (13)
Comorbilidades	47 (47)

IMC: índice de masa corporal; DE: desviación estándar; RIC: rangos intercuartílicos; CM: cáncer de mama

se encontró diferencia 33.2 (32.2-34.3) frente a 33.3(32.2-34.4) °C, *p* = 0.96.

De las 100 pacientes, hubo 56 con afección del lado derecho. Una de ellas se reportó con tejido mamario normal, por lo que solo se analizaron estadísticamente 55 mamas derechas; del lado izquierdo, se identificaron 41 mamas afectadas, una de las cuales presentó tejido mamario normal, por lo que se analizaron 40 mamas izquierdas, y en 3 mujeres hubo afectación bilateral, en la que un caso se reportó con tejido mamario normal, por lo que se analizaron 2 casos correspondientes a 4 mamas (figura 1).

Los 2 casos en los que la afectación de las mamas fue bilateral resultaron con BI-RADS 4, con reporte histopatológico posterior de mastitis linfocitaria (lesión inflamatoria) y fibroadenoma (mastopatía fibroquística), respectivamente.

Al comparar la temperatura mediante TI, de acuerdo con la categorización de las lesiones mamarias como de tipo inflamatorio, mastopatía fibroquística, lesiones premalignas y lesiones malignas, solo se observó diferencia en la temperatura entre las diferentes categorías cuando la mama afectada fue la izquierda (cuadro V).

Para establecer el punto de corte de temperatura obtenida por TI de las mamas afectadas, se empleó una curva ROC y resultó que para lesiones malignas la temperatura por TI ≥ 33.4 °C, LR+ 1.97 y LR- 0.47, sensibilidad de 0.69 y especificidad de 0.64, con área bajo la curva (AUC) de 0.65 (IC 95 % 0.45-0.79), *p* = 0.03 (figura 2). La TI ≥ 33.4 °C mostró una RM 4.16 (IC 95% 1.23-14.09), *p* = 0.01, para presencia de lesiones malignas de mama.

Discusión

Los resultados de la TI en mujeres con sospecha de cáncer de mama mostraron que las lesiones malignas

Cuadro II Comparación de las características ginecoobstétricas según la clasificación BI-RADS

Variables	BI-RADS 4A	BI-RADS 4B	BI-RADS 4C	<i>p</i> *
	<i>n</i> = 64	<i>n</i> = 26	<i>n</i> = 10	
	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)	
Menopausia				< 0.0001
Sí	13 (20)	19 (73)	5 (50)	
No	51 (80)	7 (26)	5 (50)	
Lactancia				0.89
Sí	49 (76)	21 (80)	7 (70)	
No	15 (24)	5 (20)	3 (30)	
Tumor palpable				< 0.0001
Sí	16 (25)	2 (7)	6 (60)	
No	48 (75)	24 (93)	4 (40)	

*Se usó prueba de chi cuadrada

Cuadro III Estratificación del resultado histopatológico de acuerdo con la clasificación de BI-RADS

Resultado histopatológico	BI-RADS 4A n = 64	BI-RADS 4B n = 26	BI-RADS 4C n = 10	Total n = 100
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Adenosis	8 (12.5)	4 (15.4)	1 (10)	13 (13)
Cáncer ductal	5 (7.8)	2 (7.7)	4 (40)	11 (11)
Cáncer mucinoso	1 (1.5)	0 (0)	1 (10)	2 (2)
Ectasia ductal	3 (4.7)	2 (7.7)	0 (0)	5 (5)
Tejido glandular	0 (0)	1 (3.8)	0 (0)	1 (1)
Fibroadenoma	22 (34.3)	6 (23.1)	0 (0)	28 (28)
Fibroesclerosis	0 (0)	1 (3.8)	0 (0)	1 (1)
Hiperplasia ductal sin atipia	12 (18.8)	5 (19.3)	2 (20)	19 (19)
Hiperplasia folicular	1 (1.5)	0 (0)	0 (0)	1 (1)
Hiperplasia linfoide	2 (3.2)	0 (0)	0 (0)	2 (2)
Mastitis aguda	0 (0)	1 (3.8)	0 (0)	1 (1)
Mastitis crónica	2 (3.2)	0 (0)	0 (0)	2 (2)
Mastitis linfocitaria	1 (1.5)	0 (0)	0 (0)	1 (1)
Mastopatía fibroquística	1 (1.5)	0 (0)	0 (0)	1 (1)
Metaplasia apocrina	2 (3.2)	1 (3.8)	0 (0)	3 (3)
Microabscesos	1 (1.5)	0 (0)	0 (0)	1 (1)
Papilomatosis intraductal	2 (3.2)	0 (0)	0 (0)	2 (2)
Proliferación fibroepitelial	0 (0)	2 (7.7)	0 (0)	2 (2)
Tejido adiposo	0 (0)	1 (3.8)	0 (0)	1 (1)
Tejido mamario	0 (0)	0 (0)	1 (10)	1 (1)
Tumor filoides	1 (1.5)	0 (0)	1 (10)	2 (2)

Cuadro IV Asociación del resultado histopatológico con la clasificación de BI-RADS

Resultado histopatológico	BI-RADS 4A n = 64	BI-RADS 4B n = 26	BI-RADS 4C n = 10	p*
	n (%)	n (%)	n (%)	
Benigno	58 (90.62)	25 (97)	5 (50)	0.0004
Maligno	6 (9.38)	1 (3)	5 (50)	

*Se empleó prueba de chi cuadrada

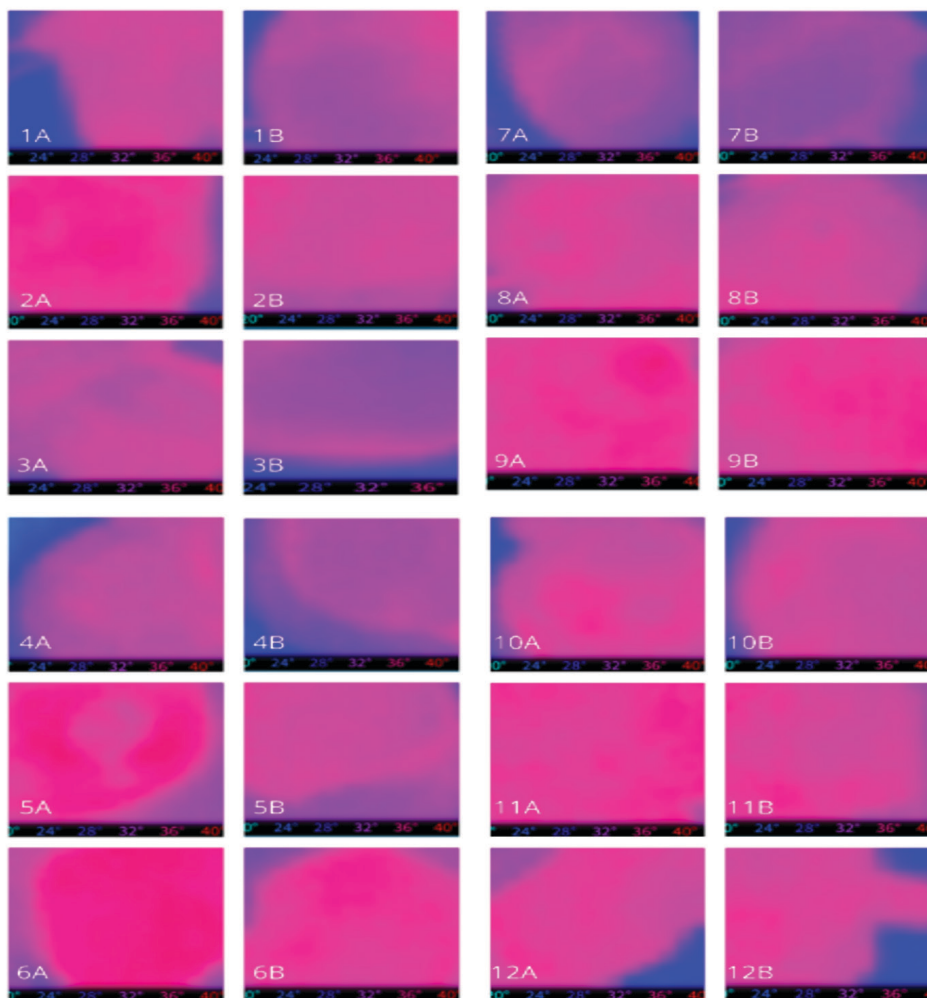
registraron mayor temperatura. El punto de corte ≥ 33.4 °C resultó con sensibilidad de 69% y especificidad de 64%.

En el estudio realizado por Wang *et al.*¹⁶ los autores describieron una mayor AUC de la TI: 0.94 (IC 95% 0.92-0.97), con mayor sensibilidad (del 86%) y una especificidad del 93%, a diferencia de lo observado en la presente investigación, en la cual se reportaron AUC, sensibilidad y especificidad moderadas, pese a que se utilizaron los sensores en un solo plano. Las diferencias observadas también pudieron ser debido a que en el primer estudio utilizaron una cámara infrarroja ultrasensible y recolección automatizada de datos, con algoritmo de inteligencia artificial. Bansal *et al.*¹⁷ tam-

bién mostraron una sensibilidad elevada (del 95%, IC 95% 76-99) y una especificidad de 88% (IC 95% 85-91%); usaron cámaras térmicas de alta resolución que pudieron detectar diferencias de temperatura de 0.025 °C, combinado con el uso de algoritmos informáticos para el análisis térmico de las imágenes, con reducción de la subjetividad del observador, lo que permitió una interpretación cuantitativa automatizada mucho más real.

Se demuestra así que el incremento de la temperatura detectado por medio de la TI puede sugerir alta actividad metabólica de las células cancerígenas a través de la angiogénesis y las vías reguladoras que influyen en el cambio

Figura 1 Imágenes de termografía de las mamas afectadas y comparación con la mama contralateral no afectada



A: mama con resultado histopatológico maligno; B: mama control

1: cáncer ductal triple negativo; 2: cáncer ductal luminal A; 3: cáncer ductal luminal B; 4: cáncer ductal luminal B; 5: cáncer ductal triple negativo; 6: cáncer ductal triple negativo; 7: cáncer ductal triple negativo; 8: cáncer mucinoso; 9: cáncer ductal luminal A; 10: cáncer ductal triple negativo; 11: cáncer ductal triple negativo; 12: cáncer ductal luminal B

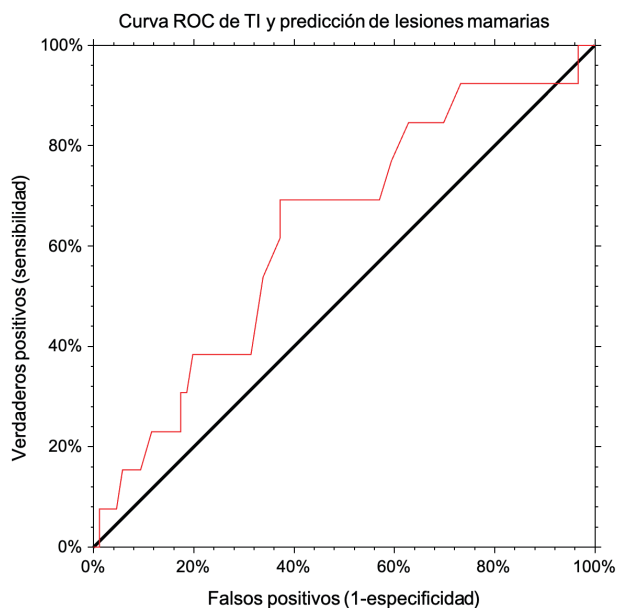
Cuadro V Comparación de la temperatura de mamas afectadas mediante TI, en mamas afectadas del derecho e izquierdo de acuerdo con la categorización de las lesiones

Mama derecha n = 55						
	Inflamatorio n = 17	Mastopatía fibroquística n = 15	Lesiones premalignas n = 16	Lesiones malignas n = 7	F	p
	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE		
Temperatura*	32.84 ± 1.24	32.94 ± 1.63	32.85 ± 1.41	32.98 ± 1.55	0.02	0.99
Mama izquierda n = 40						
	Inflamatorio n = 8	Mastopatía fibroquística n = 14	Lesiones premalignas n = 12	Lesiones malignas n = 6	F	p
	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE		
Temperatura†	33.17 ± 1.31	33.68 ± 1.14	31.9 ± 1.15	33.98 ± 1.14	6.37	0.001

*Prueba Tukey, sin diferencia significativa

†Prueba Tukey, mastopatía fibroquística frente a premaligna, $p = 0.002$; lesión premaligna frente a maligna, $p = 0.006$

Figura 2 Curva de ROC del punto de corte de la TI para la predicción de lesiones mamarias malignas



TI: termografía infrarroja

temprano en la temperatura de la región mamaria. El factor inducible por hipoxia 1 (HIF-1) se ha caracterizado como el principal regulador de la adaptación celular a la hipoxia en pacientes con cáncer de mama¹⁸ y participa en 2 procesos fundamentales: la reestructuración metabólica y la angiogénesis.¹⁹

Respecto a la clasificación de BI-RADS, se observó que las pacientes con BI-RADS 4A presentaron con mayor frecuencia resultado histopatológico benigno, similar a lo reportado en otro estudio realizado por el grupo de investigación.²⁰

La edad que presentaron las pacientes con sospecha de cáncer de mama en esta investigación fue alrededor de los 50 años, etapa en la que suceden cambios fisiológicos de las mamas, así como cambios de la densidad mamaria que son resultado de la disminución del estímulo hormonal propio de la menopausia, y semejante a los resultados obtenidos por Bansal *et al.*¹⁷ en mujeres con media de edad de 50.7 ± 7.3 años, 57% en etapa posmenopáusica y 36% con tejido mamario denso.

Entre las variables identificadas, se observó que el 24% de las mujeres tuvieron lesión palpable por autoexploración; además, el 60% de las pacientes con BI-RADS 4C tenían tumor palpable. Por esa razón se recomienda la autoexploración en forma mensual a partir de la menarca entre el séptimo y décimo día de iniciado el sangrado, y en las pacientes que ya no menstrúan realizarla en un día fijo del

mes elegido por la paciente,²¹ y al detectar alguna tumoración palpable, es indispensable la realización del examen clínico de las mamas por un médico o la enfermera capacitados, ya que la palpación de las glándulas mamarias se realiza con la intención de detectar tumoraciones mamarias y poder establecer un diagnóstico presuncional basado en las características clínicas de la lesión encontrada y, de esa manera, ofrecer tratamiento oportuno.²¹

En este sentido, la TI detectó mayor temperatura en las lesiones palpables en la mama izquierda, lo que puede explicarse debido a que cuando el tumor alcanza un tamaño determinado, se genera un suministro de sangre propio por la angiogénesis, lo cual a su vez genera mayor calor detectable por la termografía, resultado concordante con Wang *et al.*,¹⁶ ya que en su estudio el tamaño tumoral se encontró asociado a una densidad mamográfica, pero a diferencia del presente estudio, ellos encontraron que se asoció también a un mayor índice de malignidad.

El análisis comparativo de la temperatura entre mama derecha e izquierda a razón del BI-RADS no mostró diferencia estadísticamente significativa, pero al comparar la temperatura de mamas afectadas, del lado derecho y por separado del izquierdo, de acuerdo con la categorización de las lesiones, se observó que en la mama izquierda hubo diferencia entre los 4 grupos; inflamatorio, mastopatía fibroquística, lesiones premalignas y lesiones malignas; se identificó que las lesiones malignas mostraron mayor temperatura que las lesiones premalignas y estas a su vez mostraron más temperatura que la mastopatía fibroquística. Ya se ha reportado en otro estudio que existe diferencia en la temperatura en mama derecha e izquierda entre 0.27°C y 0.34°C en mujeres sanas.²² Aunado a esto se encontró que las mamas del lado izquierdo (15%) tuvieron proporcionalmente más lesiones malignas que las del lado derecho (12.72%).

La mastografía es el estándar actual y el procedimiento de detección más utilizado para el cáncer de mama;²³ sin embargo, tiene limitaciones y no es 100% precisa. Aproximadamente, 1 de cada 5 casos de cáncer de mama no se llega a detectar con este método, o puede dar un resultado falso negativo en 1 de cada 8 casos de cáncer de mama, o bien puede haber resultados falsos positivos debido a la densidad del tejido mamario, por antecedentes de biopsias de mama o debido a tratamiento con estrógeno. También puede mostrar un resultado falso positivo para la primera mastografía,²⁴ y aunque puede detectar adenomegalias en cuello, senos y axilas que la TI no realiza, la TI ofrece otros beneficios como, por ejemplo, que la densidad mamaria no afecta los resultados, no es dolorosa, no implica radiación, no hay límite en la edad de la mujer para su realización, es eficaz en mujeres con implantes y además es de bajo costo,²⁵ lo cual permite que sea accesible para más mujeres

y, de esta manera, contribuye con la Organización Mundial de la Salud (OMS) en la Iniciativa Mundial contra el Cáncer de Mama para reducir la mortalidad por esa causa en un 2.5% anual. Una de las 3 estrategias y objetivos clave es el diagnóstico oportuno; las otras 2 estrategias son la promoción de la salud y la gestión integral del cáncer de mama.²⁶

En relación con los resultados histopatológicos, se identificó que los tipos más frecuentes de patología benigna fueron fibroadenoma, hiperplasia ductal sin atipia, adenosis, entre otros, similar a la base de datos creada por Rodríguez *et al.*²⁷ Y en cuanto a la patología maligna de mama, el carcinoma ductal fue el tipo histológico de mayor prevalencia. Varios estudios han desarrollado diferentes métodos efectivos de inteligencia artificial para la detección de este carcinoma utilizando TI. Milosevic *et al.*²⁸ desarrollaron una matriz de coocurrencia y una matriz de longitud de ejecución como descriptores de imágenes. En la etapa de clasificación, se utilizaron una máquina de vectores de soporte y un clasificador bayesiano ingenuo. Chen²⁹ utilizó la entropía de energía wavelet (WEE) como características para clasificar los cánceres de mama con resultados prometedores. A su vez, Nguyen *et al.*³⁰ introdujeron el invariante de momento Hu para detectar mamas anormales, Muhammad³¹ combinó la medida estadística y la dimensión fractal, y Guo³² propuso la máquina de vectores de soporte de energía Wavelet (WESVM) para detectar el cáncer de mama. Y aunque todos estos métodos han resultado de utilidad, se considera que es importante su estandarización y alineación, tanto de los métodos como de los resultados para hacer un adecuado análisis y comparación con otros estudios, además de que también hay que considerar las recomendaciones de la Academia Americana de Termología y de la Asociación Termográfica Europea.²³

En el análisis de este estudio, se consideraron los resultados cuantitativos, pero también se obtuvieron los resultados cualitativos de las imágenes obtenidas por la cámara termográfica. Dichas imágenes contienen los parámetros termográficos al momento de la captura, y aunque la resolución e interpretación está limitada al criterio del observador

y no se pueden generalizar los resultados fuera del ámbito visual, se observa la diferencia en la imagen de la mama afectada con la mama sin afección.

Entre las limitaciones de este estudio se encuentran que se registró la temperatura en una sola posición y tal vez se deberían considerar las 3 posiciones (oblicua derecha, frente y oblicua izquierda) para tener una mejor captación de imagen térmica. Además, sería de mucha utilidad contar con un sistema de diagnóstico asistido por computadora que pueda incorporar un análisis de textura y aprendizaje automático que pueda ayudar a localizar y segmentar la región anormal, clasificar el tipo de anomalía y asignar un puntaje para evaluar el riesgo de cáncer.

Entre las fortalezas que presenta este estudio están que aportó datos valiosos respecto a la temperatura e imágenes térmicas comparativas de las mamas de las mujeres del estudio de acuerdo con los resultados histopatológicos.

Finalmente, se puede decir que la TI es una técnica prometedora para detectar lesiones cancerosas en la mama y es además de bajo costo, con portabilidad y con técnica indolora. Sin embargo, se requieren más estudios estandarizados y a gran escala que apoyen estos resultados.

Conclusión

Los resultados obtenidos en este estudio reportaron mediante TI que las mujeres con lesiones malignas tuvieron más elevada la temperatura. Y el punto de corte ≥ 33.4 °C mostró una sensibilidad de 0.69 y una especificidad de 0.63, por lo que la TI podría ser de utilidad en detección primaria de cáncer de mama.

Declaración de conflicto de interés: los autores han completado y enviado la forma traducida al español de la declaración de conflictos potenciales de interés del Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas, y no fue reportado alguno relacionado con este artículo.

Referencias

1. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin.* 2021;71(3):209-49. doi: 10.3322/caac.21660
2. Instituto Mexicano del Seguro Social. Guía de Práctica Clínica Tratamiento del cáncer de mama en segundo y tercer nivel de atención. México: IMSS; 2017. Disponible en: <https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/232GER.pdf>
3. Shang C, Xu D. Epidemiology of Breast Cancer. *Oncologie.* 2022;24(4):649-63. doi: 10.32604/oncologie.2022.027640
4. Zavala VA, Serrano-Gomez SJ, Dutil J, et al. Genetic Epidemiology of Breast Cancer in Latin America. *Genes.* 2019;10(2):153.
5. Da Costa Vieira RA, Biller G, Uemura G, et al. Breast cancer screening in developing countries. *Clinics (Sao Paulo).* 2017; 72(4):244-53. doi: 10.6061/clinics/2017(04)09
6. Takkar N, Kochhar S, Garg P, et al. Screening methods (clinical breast examination and mammography) to detect breast cancer in women aged 40-49 years. *J Midlife Health.* 2017;8(1):2-10. doi: 10.4103/jmh.JMH_26_16
7. Miller JW, King JA, Trivers KF, et al. Vital Signs: Mammography Use and Association with Social Determinants of Health

- and Health-Related Social Needs Among Women - United States, 2022. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2024;73(15):351-7. doi: 10.15585/mmwr.mm7315e1
8. Rakhunde MB, Gotarkar S, Choudhari SG. Thermography as a Breast Cancer Screening Technique: A Review Article. *Cureus.* 2022;14(11):e31251. doi: 10.7759/cureus.31251
 9. Lozano A, Hassanipour F. Infrared imaging for breast cancer detection: An objective review of foundational studies and its proper role in breast cancer screening. *Infrared Physics & Technology.* 2019;97:244-57.
 10. Zuluaga-Gomez J, Zerhouni N, Al Masry Z, et al. A survey of breast cancer screening techniques: thermography and electrical impedance tomography. *J Med Eng Technol.* 2019;43(5):305-22. doi: 10.1080/03091902.2019.1664672
 11. Malik AM. *New Perspectives in Breast Imaging.* InTech eBooks; 2017.
 12. Alshehri A, AlSaeed D. Breast Cancer Detection in Thermography Using Convolutional Neural Networks (CNNs) with Deep Attention Mechanisms. *Applied Sciences.* 2022;12(24):12922. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/24/12922>
 13. Navarro-Ruiz NE, Reyna-Sevilla A. Spatio-temporal trend of BI-RADS classification suggestive of malignancy: a national analysis of mammograms, 2013-2017. *Gac Med Mex.* 2021; 157(2):167-73. doi: 10.24875/GMM.M21000541
 14. Teichgraeber DC, Guirguis MS, Whitman GJ. Breast Cancer Staging: Updates in the AJCC Cancer Staging Manual, 8th Edition, and Current Challenges for Radiologists, From the AJR Special Series on Cancer Staging. *AJR Am J Roentgenol.* 2021;217(2):278-90. doi: 10.2214/AJR.20.25223
 15. Kakileti ST, Madhu HJ, Krishnan L, et al. Observational Study to Evaluate the Clinical Efficacy of Thermalytix for Detecting Breast Cancer in Symptomatic and Asymptomatic Women. *JCO Glob Oncol.* 2020;1472-80. doi: 10.1200/GO.20.00168
 16. Wang X, Chou K, Zhang G, et al. Breast cancer pre-clinical screening using infrared thermography and artificial intelligence: a prospective, multicentre, diagnostic accuracy cohort study. *Int J Surg.* 2023;109(10):3021-31. doi: 10.1097/JS9.0000000000000594
 17. Bansal R, Collison S, Krishnan L, et al. A prospective evaluation of breast thermography enhanced by a novel machine learning technique for screening breast abnormalities in a general population of women presenting to a secondary care hospital. *Front Artif Intell.* 2023;5:1050803. doi: 10.3389/frai.2022.1050803
 18. Wang GL, Jiang BH, Rue EA, et al. Hypoxia-inducible factor 1 is a basic-helix-loop-helix-PAS heterodimer regulated by cellular O₂ tension. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1995;92(12):5510-4. doi: 10.1073/pnas.92.12.5510
 19. Harris AL. Clinical strategies to inhibit tumor vascularization. In: Ribatti D, Pezzella F, eds. *Tumor Vascularization.* Academic Press, 2020. 147-76. doi: 10.1016/B978-0-12-819494-2.00009-2
 20. Zambrano-Terrazas SP, Sosa-Bustamante GP, González AP et al. Cáncer de mama: hallazgos sospechosos en mastografía asociados al resultado histopatológico. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2024;62(4):e6123. doi: 10.5281/zenodo.11397045
 21. Centro Nacional de Equidad de Género y Salud Reproductiva. *Manual de Exploración Clínica de las Mamas.* México, Distrito Federal: Secretaría de Salud; 2007.
 22. Lubkowska A, Chudecka M. Thermal Characteristics of Breast Surface Temperature in Healthy Women. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(3):1097. doi: 10.3390/ijerph18031097
 23. Khan AA, Arora AS. Thermography as an Economical Alternative Modality to Mammography for Early Detection of Breast Cancer. *J Healthc Eng.* 2021:5543101. doi: 10.1155/2021/5543101
 24. Pathak N, Nadler MB. Determining Women's Willingness to Screen for Breast Cancer: Does False-Positive Recall Matter? *Ann Intern Med.* 2024;177(10):1433-4. doi: 10.7326/M24-0893
 25. Rakhunde MB, Gotarkar S, Choudhari SG. Thermography as a Breast Cancer Screening Technique: A Review Article. *Cureus.* 2022;14(11):e31251. doi: 10.7759/cureus.31251
 26. World Health Organization. *Global breast cancer initiative implementation framework: assessing, strengthening and scaling up of services for the early detection and management of breast cancer: executive summary.* Geneva: WHO; 2023. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240067134>
 27. Rodriguez-Guerrero S, Loaiza-Correa H, Restrepo-Girón AD, et al. Dataset of breast thermography images for the detection of benign and malignant masses. *Data Brief.* 2024; 54:110503. doi: 10.1016/j.dib.2024.110503
 28. Milosevic M, Jankovic D, Peulic A. Comparative analysis of breast cancer detection in mammograms and thermograms. *Biomed Eng Biomed Tech.* 2015;60:49-56. doi: 10.1515/bmt-2014-0047.
 29. Chen Y. Wavelet energy entropy and linear regression classifier for detecting abnormal breasts. *Multimed Tools Appl.* 2018; 77:3813-32. doi: 10.1007/s11042-016-4161-0
 30. Nguyen E. Breast cancer detection via Hu moment invariant and feedforward neural network. In: *AIP conference proceedings,* 2018: 1954, Article ID: 030014.
 31. Muhammad K. Ductal carcinoma in situ detection in breast thermography by extreme learning machine and combination of statistical measure and fractal dimension. *J Ambient Intell Humaniz Comput.* 2017 doi: 10.1007/s12652-017-0639-5
 32. Guo ZW, Suchkov M, Jiang L, et al. Breast cancer detection via wavelet energy and support vector machine. In: *27th IEEE international conference on robot and human interactive communication.* Nanjing, China, 2018: 758-63.