



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES
CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD
HOSPITAL GENERAL DE ZONA NO. 3, JESÚS MARÍA;
AGUASCALIENTES

**“CARACTERIZACIÓN DEL PACIENTE DIABÉTICO CON
AMPUTACIÓN DE EXTREMIDAD INFERIOR POR MEDIO
DE TERMOGRAFÍA EN EL HOSPITAL GENERAL DE ZONA
NO. 3 EN JESÚS MARÍA, AGUASCALIENTES”**

**TESIS PRESENTADA POR MIGUEL ANGEL MOJARRO
CISNEROS, PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN CIRUGÍA GENERAL.**

TUTOR:
DR. JOSÉ LUIS BIZUETO MONROY.

**AGUASCALIENTES, AGUASCALIENTES, A 19 DE
NOVIEMBRE DE 2024**

Dictamen de aprobación comité de ética

2/5/24, 08:00

SIRELCIS



GOBIERNO DE MÉXICO



DIRECCIÓN DE PRESTACIONES MÉDICAS
Unidad de Educación e Investigación
Coordinación de Investigación en Salud

Dictamen de Aprobado

Comité de Ética en Investigación 1018.
H GRAL ZONA NUM 1

Registro COFEPRIS 17 CI 01 001 038

Registro CONBIOÉTICA CONBIOETICA 01 CEI 001 2018082

FECHA Jueves, 02 de mayo de 2024

Doctor (a) JOSE LUIS BIZUETO MONROY

P R E S E N T E

Tengo el agrado de notificarle, que el protocolo de investigación con título **Caracterización del paciente diabético con amputación de extremidad inferior por medio de Termografía en el Hospital General de Zona No. 3 en Jesús María, Aguascalientes** que sometió a consideración para evaluación de este Comité, de acuerdo con las recomendaciones de sus integrantes y de los revisores, cumple con la calidad metodológica y los requerimientos de ética y de investigación, por lo que el dictamen es **A P R O B A D O**:

Número de Registro Institucional
Sin número de registro

De acuerdo a la normativa vigente, deberá presentar en junio de cada año un informe de seguimiento técnico acerca del desarrollo del protocolo a su cargo. Este dictamen tiene vigencia de un año, por lo que en caso de ser necesario, requerirá solicitar la reaprobación del Comité de Ética en Investigación, al término de la vigencia del mismo.

ATENTAMENTE

Maestro (a) Sarahi Estrella Maldonado Paredes
Presidente del Comité de Ética en Investigación No. 1018

Imprimir



Dictamen de aprobación comité de investigación



DIRECCIÓN DE PRESTACIONES MÉDICAS
Unidad de Educación e Investigación
Coordinación de Investigación en Salud

Dictamen de Aprobado

Comité Local de Investigación en Salud 101.
H GRAL ZONA NUM 1

Registro COFEPRIS 17 CI 01 001 038

Registro CONBIOÉTICA CONBIOÉTICA 01 CET 001 2018082

FECHA Lunes, 06 de mayo de 2024

Doctor (a) JOSE LUIS BIZUETO MONROY

PRESENTE

Tengo el agrado de notificarle, que el protocolo de investigación con título **Caracterización del paciente diabético con amputación de extremidad inferior por medio de Termografía en el Hospital General de Zona No. 3 en Jesús María, Aguascalientes** que sometió a consideración para evaluación de este Comité, de acuerdo con las recomendaciones de sus integrantes y de los revisores, cumple con la calidad metodológica y los requerimientos de ética y de investigación, por lo que el dictamen es **APROBADO**:

Número de Registro Institucional

R-2024-101-053

De acuerdo a la normativa vigente, deberá presentar en junio de cada año un informe de seguimiento técnico acerca del desarrollo del protocolo a su cargo. Este dictamen tiene vigencia de un año, por lo que en caso de ser necesario, requerirá solicitar la reaprobación del Comité de Ética en Investigación, al término de la vigencia del mismo.

ATENTAMENTE

Doctor (a) CARLOS ARMANDO SANCHEZ NAVARRO
Presidente del Comité Local de Investigación en Salud No. 101

Imprimir



Carta de aprobación trabajo de tesis



CARTA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TESIS

AGUASCALIENTES, AGS, A 19 DE NOVIEMBRE DE 2024

**COMITÉ DE INVESTIGACIÓN Y ÉTICA EN INVESTIGACIÓN EN SALUD 101
HOSPITAL GENERAL DE ZONA No.1, AGUASCALIENTES**

**DR. CARLOS ALBERTO PRADO AGUILAR
COORDINADOR AUXILIAR MÉDICO DE INVESTIGACIÓN EN SALUD
P R E S E N T E**

Por medio de la presente le informo que el Residente de la Cirugía General del Hospital General de Zona No. 3 del Instituto Mexicano del Seguro Social de la Delegación Aguascalientes.

DR. MIGUEL ANGEL MOJARRO CISNEROS

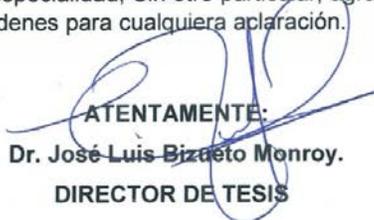
Ha concluido satisfactoriamente con el trabajo de titulación denominado:

**"CARACTERIZACIÓN DEL PACIENTE DIABÉTICO CON AMPUTACIÓN DE EXTREMIDAD INFERIOR
POR MEDIO DE TERMOGRAFÍA EN EL HOSPITAL GENERAL DE ZONA NÚMERO 3 EN JESUS MARÍA,
AGUASCALIENTES"**

Número de Registro: **R 2024-101-053** del Comité Local de Investigación y Ética en Investigación en Salud No. 101.

Elaborado de acuerdo con la opción de titulación: **TESIS**.

El Dr. Miguel Angel Mojarro Cisneros asistió a las asesorías correspondientes y realizó las actividades apegadas al plan de trabajo, por lo que no tengo inconvenientes para que se proceda a la impresión definitiva ante el comité que usted preside, para que sean realizados los trámites correspondientes a su especialidad, Sin otro particular, agradezco la atención que sirva a la presente, quedando a sus órdenes para cualquiera aclaración.

ATENTAMENTE:

Dr. José Luis Bizaeto Monroy.
DIRECTOR DE TESIS

Dictamen de Aprobado CLIES 101

Carta conclusión trabajo de tesis



AGUASCALIENTES, AGS, A 19 DE NOVIEMBRE DE 2024

DR. SERGIO RAMIREZ GONZALEZ
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD

P R E S E N T E

Por medio de la presente le informo que el Residente de la Especialidad de Cirugía General del Hospital General de Zona No. 3 del Instituto Mexicano del Seguro Social de la Delegación Aguascalientes.

DR. MIGUEL ANGEL MOJARRO CISNEROS

Ha concluido satisfactoriamente con el trabajo de titulación denominado:

**"CARACTERIZACIÓN DEL PACIENTE DIABÉTICO CON AMPUTACIÓN DE EXTREMIDAD INFERIOR
POR MEDIO DE TERMOGRAFÍA EN EL HOSPITAL GENERAL DE ZONA NÚMERO 3 EN JESUS MARÍA,
AGUASCALIENTES"**

Número de Registro: **R 2024-101-053** del Comité Local de Investigación y Ética en Investigación en Salud No. 101.

Elaborado de acuerdo con la opción de titulación: **TESIS.**

EL Dr. Miguel Angel Mojarro Cisneros asistió a las asesorías correspondientes y realizo las actividades apegadas al plan de trabajo, cumpliendo con la normatividad de investigación vigente en el Instituto Mexicano del Seguro Social.

Sin otro particular, agradezco a usted su atención, enviándole un cordial saludo.

ATENTAMENTE:



DR. CARLOS ALBERTO PRADO AGUILAR
COORDINADOR AUXILIAR MEDICO DE INVESTIGACION EN SALUD

Evidencia de envío a revista científica para publicación

The screenshot displays the Cureus dashboard interface. At the top, the Cureus logo is followed by navigation links: Specialties, Resources, Channels, Partnerships, Newsroom, About Us, and Competitions. A 'SUBMIT RESEARCH' button with a checkmark icon and a user profile icon are also present. Below the navigation, there are tabs for 'MY DOCUMENTS', 'MY REVIEWS', and 'METRICS'. A prominent orange button reads 'JOIN OUR PEER REVIEW PANEL'. On the left, the 'Cureus Honors Dashboard' features progress bars for 'Scholar', 'Magna', and 'Summa' categories. The main content area is titled 'ACTIVE (1) PUBLISHED (0)' and shows a draft article titled '"Characterization of Diabetic Patients With Lower Limb Amputation Through Plantar Thermography at General Zone Hospital No. 3 in...'. The article is labeled as an 'ORIGINAL ARTICLE' and is currently in 'DRAFT' status, with a progress indicator for 'Step 1 of 7'. The authors listed are Miguel A. Mojarro, José Luis Bizueto Monroy, José A. Carlos Escalante, Ivonne González Espinosa, Leonardo Agassini Arroyo Rodarte, José Manuel Tavera Alvarez, and Isaac Macías. Action buttons for 'EDIT' and 'MENU' are visible next to the article title. A large, faint watermark of the number '10' is overlaid on the dashboard.

Dictamen de liberación académica



DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL EXAMEN DE GRADO - ESPECIALIDADES MÉDICAS



Fecha de dictaminación dd/mm/aa: 29/01/25

NOMBRE: MOJARRO CISNEROS MIGUEL ANGEL **ID** 137873

ESPECIALIDAD: EN CIRUGÍA GENERAL **LGAC (del posgrado):** PACIENTE QUIRÚRGICO EN EL PERIOPERATORIO

TIPO DE TRABAJO: () Tesis () Trabajo práctico

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN DEL PACIENTE DIABÉTICO CON AMPUTACIÓN DE EXTREMIDAD INFERIOR POR MEDIO DE TERMOGRAFÍA PLANTAR EN EL HOSPITAL GENERAL DE ZONA NO. 3 EN JESÚS MARÍA, AGUASCALIENTES

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): DIAGNÓSTICO TEMPRANO Y MANEJO PREVENTIVO DE COMPLICACIONES EN PACIENTES CON PIE DIABÉTICO

INDICAR SI/NO SEGÚN CORRESPONDA:

Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:

- SI El trabajo es congruente con las LGAC de la especialidad médica
 - SI La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
 - SI Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
 - SI Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
 - SI Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
 - SI El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
 - SI Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
 - NO Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
 - SI Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
- El egresado cumple con lo siguiente:*
- SI Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
 - SI Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, etc)
 - SI Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
 - SI Cuenta con la aprobación del (la) Jefe de Enseñanza y/o Hospital
 - SI Coincide con el título y objetivo registrado
 - SI Tiene el CVU del Conahcyt actualizado
 - NA Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado

Sí X
No _____

FIRMAS

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

MCB.E SILVIA PATRICIA GONZÁLEZ FLORES

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

DR. SERGIO RAMÍREZ GONZÁLEZ

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

Agradecimientos:

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Jose Luis Bizuelo, ejemplo de pasión por el conocimiento y el aprendizaje constante. Su entusiasmo contagioso, guía y disposición han sido un pilar fundamental de mi formación y la consecución de esta tesis. Gracias por enseñarnos a no dejar de cuestionar, explorar, aprender de sus enseñanzas y a buscar la virtud.

A mis padres, quienes con amor incondicional y apoyo inquebrantable han sido un bastón y un cobijo durante este arduo caminar. Su fe en mis capacidades, incluso en los momentos más oscuros, ha sido un faro que me ha guiado cuando me sentía sobrepasado. Gracias por sus sacrificios, por sus palabras de aliento cuando más lo necesitaba, por las noches de insomnio de preocupación silenciosa y por ser un ejemplo de perseverancia, integridad y amor. Cada uno de mis logros es, en gran parte, gracias a su paciencia y sabiduría. Su presencia en mi vida me ha dado la confianza de enfrentar y la inspiración para ser mejor, no solo médico, sino humano.

A mis hermanos, quienes en el camino siempre han estado para darme su ayuda incondicional, palabras de ánimo y compañía. A mis amigos de la residencia, quienes en muchos casos son también parte de mi familia; junto a ustedes he vivido largas jornadas, risas y aprendizajes que jamás olvidaré.

A mis profesores, cuyo empeño y paciencia han sido clave en mi formación, tanto médica, como personal. Cada charla magistral dada fue para mí más valiosa de lo que ustedes imaginaban, pues no solo aprendí cirugía sino también la importancia de la empatía y el compromiso con nuestros pacientes. Y, por último, pero no menos importante, a mis pacientes, de quienes he recibido las mejores enseñanzas. Gracias por confiar en mí en sus momentos más vulnerables, han sido un verdadero honor y placer atenderlos. Han sido mis maestros de las lecciones que no pueden encontrarse en los libros, y mi motivación de ser mejor cada día. Sin todos y cada uno de ustedes esto no sería posible, a todos y cada uno les dedico humildemente este logro. Gracias.

Índice

1.- Datos de Identificación de los investigadores:	3
2.- Resumen	4
3.- Marco teórico:	6
3.1.- <i>Antecedentes científicos relacionados con las variables:</i>	6
3.2.- <i>Diagrama de Cochrane</i>	8
3.3.- <i>Antecedentes científicos</i>	9
4.-Marco Conceptual:	17
4.1.- <i>Modelos y Teorías:</i>	17
5.-Justificación.....	24
6.- Pregunta de investigación:.....	29
7.- Objetivo General:	30
8.- Objetivos específicos:.....	31
9.- Hipótesis:	32
10.-Metodología:	33
11.-Análisis de datos:.....	50
12.-Aspectos éticos:	51
13.-Recursos, financiamiento y factibilidad:	54
14.-Cronograma de actividades:	55
15.-Resultados:	56
16.-Discusión:	62
17.-Conclusión:.....	65
18.-Glosario:	68
19.-Bibliografía:.....	70
20.-Anexos:.....	72

Índice de Tablas

Tabla 1: Temperaturas promedio de los angiosomas del pie derecho e izquierdo ...58

Tabla 2. Valores p ajustados para los diferentes grupos según el tipo de manejo.... 60

Índice de Gráficos

Gráfico 1. distribución de pacientes según el tipo de manejo quirúrgico recibido...56

Gráfico 2. Media de edad con desviación estándar56

Gráfico 3 Media de estancia intrahospitalaria con desviación estándar57

Gráfico 4. Temperaturas promedio de los angiosomas del pie derecho e izquierdo,58

Gráfico 5. Comparación de las temperaturas promedio de los angiosomas del pie derecho e izquierdo.....58

Gráfico 6. Matriz de correlación de Pearson entre las temperaturas de los angiosomas del pie.....59

Índice de Figuras:

Fig 1: Esquema del espectro electromagnético.....21

Fig 2: representación visual del mapa térmico de la planta del pie.22

1.- Datos de Identificación de los investigadores:

Investigador principal:

Nombre: Dr. José Luis Bizueto Monroy

Especialidad: Medico no familiar. Matricula: 99018266

Lugar de adscripción: Hospital General de Zona No. 3, Jesús María, Aguascalientes

Lugar de trabajo: Hospital General de Zona No. 3, Jesús María, Aguascalientes

Domicilio: Av. Prolongación Ignacio Zaragoza N° 905, Colonia Jesús María, CP 20908, Jesús María, Aguascalientes, México.

Teléfono: 55 4640 1888

Correo electrónico: bizuetomjl@gmail.com

Investigador asociado (tesista):

Nombre: Miguel Angel Mojarro Cisneros

Especialidad: médico residente de cuarto año del curso de especialización en Cirugía General.

Matricula 98012393

Lugar de adscripción: Hospital General de Zona No. 1

Lugar de trabajo: Hospital General de Zona No.3, Jesús María, Aguascalientes

Domicilio: Av. Prolongación Ignacio Zaragoza N° 905, Colonia Jesús María, CP 20908, Jesús María, Aguascalientes, México.

Teléfono particular: 449 265 4508

E-mail: mojarrocisneros@gmail.com

2.- Resumen

Título:

Caracterización del paciente diabético con amputación de extremidad inferior por medio de Termografía plantar en el Hospital General de Zona No. 3 en Jesús María, Aguascalientes.

Introducción:

El pie diabético es una de las complicaciones más serias de la diabetes mellitus, con un alto riesgo de amputaciones. La termografía plantar, una técnica no invasiva y económica, puede identificar alteraciones térmicas relacionadas con neuropatía y vasculopatía diabética, lo que permitiría intervenir de manera más temprana y efectiva.

Objetivo:

Caracterizar a los pacientes diabéticos con amputación de extremidad inferior mediante termografía en el Hospital General de Zona No. 3 en Jesús María, Aguascalientes, para establecer patrones termográficos asociados con el desenlace de amputación.

Metodología:

Se realizó un estudio prospectivo y observacional con 56 pacientes con pie diabético complicado. Se midieron las temperaturas plantares promedio en diferentes angiosomas y se analizaron en relación con tres tipos de manejo: sin intervención quirúrgica, aseo quirúrgico y amputación. Los datos se evaluaron mediante análisis estadísticos como ANOVA y análisis de componentes principales (PCA), además de modelos predictivos, como árbol de decisión y Random Forest.

Resultados:

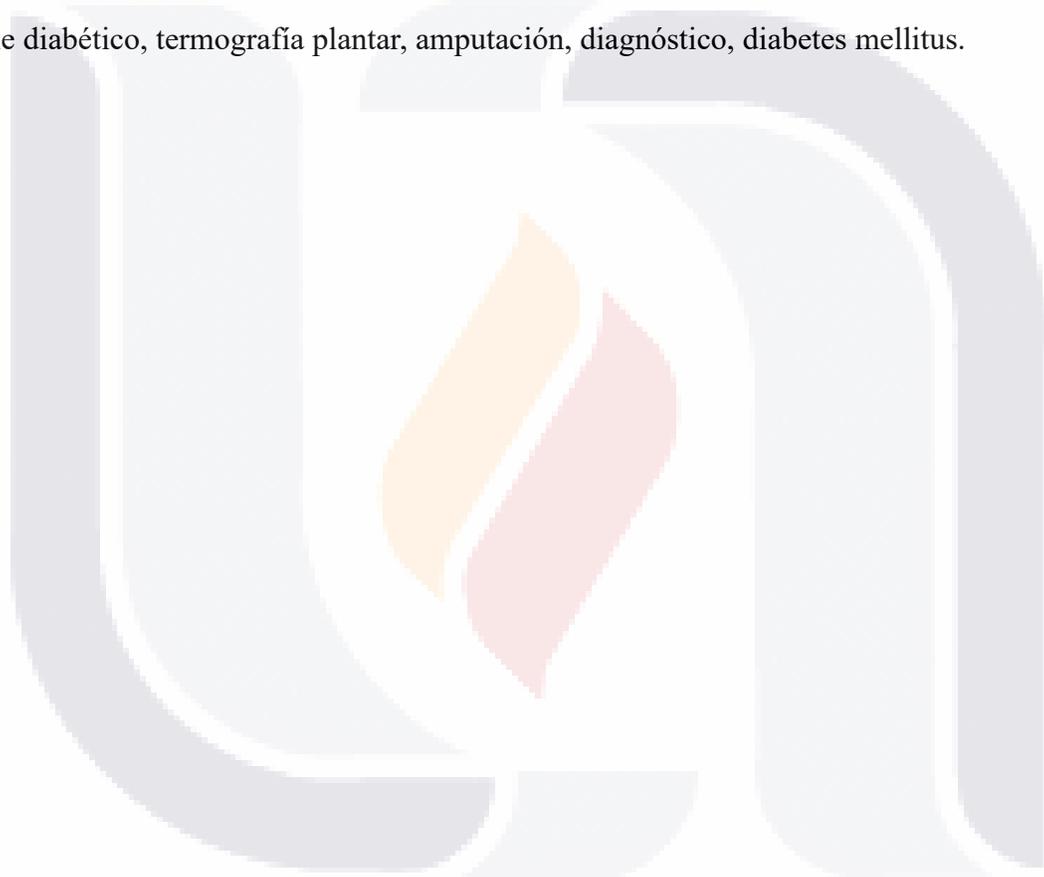
El 57.14% de los pacientes requirió manejo quirúrgico, siendo el aseo quirúrgico el procedimiento más común (35.71%). Las temperaturas plantares promedio oscilaron entre 31.11°C y 32.27°C, pero no se encontraron diferencias significativas entre los grupos de manejo quirúrgico. Los modelos predictivos basados en estas temperaturas y variables clínicas mostraron un desempeño limitado (precisión del 59% y AUC de 0.53). Sin embargo, la edad fue el único factor clínico significativamente asociado con la probabilidad de amputación ($p=0.037$).

Conclusión:

Aunque la termografía plantar demostró ser útil para monitorear cambios térmicos relacionados con neuropatía diabética, no resultó predictiva para determinar el tipo de manejo quirúrgico en este estudio. Combinar esta técnica con biomarcadores clínicos y herramientas avanzadas, como inteligencia artificial, podría mejorar su utilidad diagnóstica. Su aplicación como método de tamizaje en atención primaria subraya la importancia de futuras investigaciones para optimizar y estandarizar esta herramienta.

Palabras clave:

Pie diabético, termografía plantar, amputación, diagnóstico, diabetes mellitus.



3.- Marco teórico:

3.1.-Antecedentes científicos relacionados con las variables:

Se llevó a cabo una revisión sistemática en plataformas como PubMed y BVS para identificar literatura relevante sobre el uso de la termografía en el manejo del pie diabético. Los términos de búsqueda empleados incluyeron "thermography", "diabetic foot" y "complications", con filtros que priorizaron estudios recientes y de acceso libre, garantizando un enfoque actualizado y específico.

((("thermographies"[All Fields] OR "thermography"[MeSH Terms] OR "thermography"[All Fields]) AND ("diabetic foot"[MeSH Terms] OR ("diabetic"[All Fields] AND "foot"[All Fields]) OR "diabetic foot"[All Fields])) AND ((y_5[Filter]) AND (ffrft[Filter])).

((("thermographies"[All Fields] OR "thermography"[MeSH Terms] OR "thermography"[All Fields]) AND ("diabetic foot"[MeSH Terms] OR ("diabetic"[All Fields] AND "foot"[All Fields]) OR "diabetic foot"[All Fields]) AND ("comparative study"[Publication Type] OR "comparative study"[All Fields])) AND (ffrft[Filter])

((("thermographies"[All Fields] OR "thermography"[MeSH Terms] OR "thermography"[All Fields]) AND ("diabetic foot"[MeSH Terms] OR ("diabetic"[All Fields] AND "foot"[All Fields]) OR "diabetic foot"[All Fields]) AND ("machine learning"[MeSH Terms] OR ("machine"[All Fields] AND "learning"[All Fields]) OR "machine learning"[All Fields])) AND (ffrft[Filter])

((("thermographies"[All Fields] OR "thermography"[MeSH Terms] OR "thermography"[All Fields]) AND ("diabetic neuropathies"[MeSH Terms] OR ("diabetic"[All Fields] AND "neuropathies"[All Fields]) OR "diabetic neuropathies"[All Fields] OR ("diabetic"[All Fields] AND "neuropathy"[All Fields]) OR "diabetic neuropathy"[All Fields])) AND (ffrft[Filter])

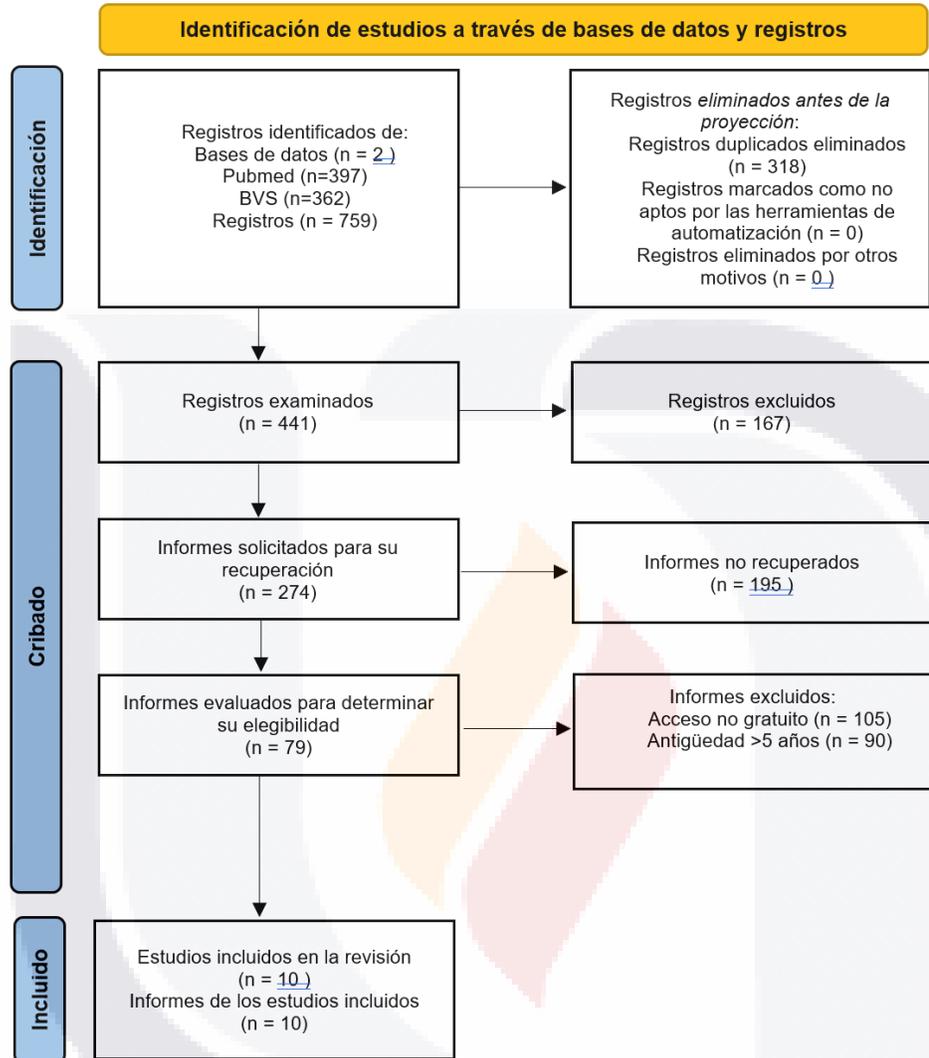
((("amputate"[All Fields] OR "amputated"[All Fields] OR "amputating"[All Fields] OR "amputation, surgical"[MeSH Terms] OR ("amputation"[All Fields] AND "surgical"[All

Fields]) OR "surgical amputation"[All Fields] OR "amputation"[All Fields] OR "amputations"[All Fields] OR "amputated"[All Fields]) AND ("thermographies"[All Fields] OR "thermography"[MeSH Terms] OR "thermography"[All Fields])) AND ((y_5[Filter]) AND (ffrft[Filter]))

((("thermographies"[All Fields] OR "thermography"[MeSH Terms] OR "thermography"[All Fields]) AND ("diabetic foot"[MeSH Terms] OR ("diabetic"[All Fields] AND "foot"[All Fields]) OR "diabetic foot"[All Fields]) AND ("complicances"[All Fields] OR "complicate"[All Fields] OR "complicated"[All Fields] OR "complicates"[All Fields] OR "complicating"[All Fields] OR "complication"[All Fields] OR "complication s"[All Fields] OR "complications"[MeSH Subheading] OR "complications"[All Fields])) AND (ffrft[Filter]))

Con un total de 759 artículos, se descartaron 318 al encontrarse repetidos, 362 debido a tener un objeto diferente de estudio; 105 por no contar con acceso gratuito a ellos, 90 debido a tener una antigüedad mayor a 5 años. Los diez artículos pertinentes se describen a continuación.

3.2.-Diagrama de Cochrane



3.3.-Antecedentes científicos

La diabetes mellitus (DM) continúa expandiéndose globalmente, afectando a cientos de millones de personas. Desde 1985, cuando se contabilizaban aproximadamente 30 millones de casos, el número ha crecido exponencialmente, alcanzando los 285 millones en 2010 y proyectándose que superará los 360 millones en la próxima década (1). Este crecimiento plantea una necesidad urgente de herramientas diagnósticas innovadoras para abordar sus complicaciones, especialmente el pie diabético. Entre estos, la termografía infrarroja se posiciona como una herramienta no invasiva que permite la detección temprana de alteraciones térmicas, facilitando la toma de decisiones clínicas basadas en datos cuantitativos (2).

Esta complicación surge como la más crítica en términos de su contribución al colectivo del suministro en circulación. Hasta el 70% de las amputaciones no traumáticas en extremidades inferiores están relacionadas con la diabetes mellitus (1). Dadas las altas tasas de recurrencia de 50% a los cinco años siguientes a la amputación, el suministro médico del pie diabético es una cuestión muy compleja (1). Por ejemplo, la presencia de neuropatía periférica se identifica como un riesgo predominante e influyente para el desarrollo de úlceras en los pies, que afectan entre el 50 y el 60% de los pacientes con síndrome del pie diabético (1).

Un análisis elaborado en 2020 brinda una perspectiva crítica de la enfermedad y sus consecuencias. Según una revisión reciente, hasta el 25% de los pacientes con diabetes desarrollarán úlceras en algún momento de su vida, y el 85% de las amputaciones en esta población están relacionadas con estas lesiones (2). Además, el riesgo de amputación de pie en pacientes con esta enfermedad es de 17 a 40 veces mayor que en la población general (2). Dicho de otra forma, las intervenciones de prevención primaria, como la detección temprana y el diagnóstico, revisten un papel fundamental en la mitigación del riesgo (1).

La importancia de estos datos radica en su capacidad para fundamentar la necesidad de un modelo integral que considere no solo los factores de riesgo tradicionales, sino también las variables subyacentes detectables a través de métodos diagnósticos avanzados, como la termografía. Este enfoque se alinea con la observación sobre la limitada comprensión de los mecanismos patogénicos subyacentes a la destrucción de tejidos en ausencia de

traumatismos, y cómo una alteración en la microcirculación de las extremidades inferiores puede estar causalmente vinculada con el síndrome del pie diabético (2).

El documento de Hutting et al arroja luces sobre la prevalencia y gestión de las infecciones del pie diabético (IPD). En palabras de los autores, entre el 19.3% y el 34.2% de los pacientes que desarrollan DM tendrán una úlcera en el pie en algún momento de sus vidas. En el 60.3% de estos casos, una IPD se desarrollará. La mencionada conclusión es relevante para el problema presentado en nuestro estudio. (3). En resumen, las infecciones no solo aumentan la morbilidad y los costos del sistema de salud, sino que también son la causa más común de hospitalización y amputación entre los pacientes con DM.

Por consiguiente, con la presencia de indicadores clínicos de la enfermedad, aún es necesario un método no invasivo para el monitoreo preciso. Por lo tanto, el autor propone una conclusión relevante sobre la “utilidad clínica potencial de las mediciones basales de temperatura para diagnosticar y/o monitorear infecciones del pie de pacientes con diabetes” (3). En otras palabras, es muy probable que la termografía detecte un cambio subsiguiente en la temperatura del pie y, por lo tanto, asegure un diagnóstico y tratamiento IPD oportuno.

Además de alinearse con las directrices del IWGDF (3) la integración de la termografía en la práctica clínica no solo parece ser prometedora como una mejora en la precisión y objetividad diagnóstica. Por el contrario, la termografía representa una oportunidad única para mejorar las medidas de seguimiento sobre este aspecto y permitir a los médicos hacer recomendaciones de tratamiento y altas más audaces. Uno de los modelos teóricos que se presenta en el análisis de Niemann es el uso de la termografía como una herramienta prometedora (2). Más específicamente, aparte del diagnóstico no invasivo de inflamación temprana o lesiones precursoras, el uso de la termografía como modalidad diagnóstica podría permitir a los clínicos actuar sobre fenómenos sutiles que aún no se manifiestan.

La termografía infrarroja ofrece un enfoque no invasivo para monitorear alteraciones térmicas asociadas con la progresión de la enfermedad, mostrando potencial para personalizar estrategias de tratamiento, prevenir complicaciones mayores y optimizar la eficiencia económica en la gestión de la salud pública. (2). La reducción de la incidencia de

amputaciones acarrearía una disminución sustancial de los costos del sistema sanitario y las intervenciones, así como una carga económica y social menos devastadora para la sociedad.

los estudios de Van Netten et al. y nuestras mediciones experimentales reportan dónde exactamente se puede trazar la línea para las diferencias de temperatura. Van Netten et al. proporcionan evidencia instrumental de que una temperatura de más de 3 °C entre el pie afectado y el no afectado al momento de la presentación “es un indicador crítico de IPD”(4). Del mismo modo, nuestro estudio amplía la comprensión al medir diferencias de temperatura durante el tratamiento de IPD, aunque no puede trazar los paralelismos directos entre la evaluación clínica o los marcadores inflamatorios séricos. (5). La observación de que las diferencias de temperatura se mantienen relativamente constantes durante el tratamiento apunta hacia la estabilidad de este parámetro termográfico, sugiriendo que, aunque no sustituye a las evaluaciones clínicas convencionales, la termografía podría complementarlas al proporcionar una dimensión adicional de monitoreo.

Aunque algunos estudios destacan las limitaciones actuales con la termografía para diagnosticar o monitorear la IPD, basada en la limitada evidencia de su correlación con la progresión clínica de la IPD y la ausencia de un seguimiento detallado en los estudios mencionados (4)(5), dejan al descubierto una laguna en la investigación actual. Sin embargo, las ventajas de la termografía, como su no invasividad, la objetividad de los resultados medidos, y su capacidad para detectar asimetrías térmicas significativas, presentan un argumento convincente para su reevaluación como herramienta complementaria en el manejo del pie diabético.

La revisión de Faus Camarena resalta que entre el 40% y el 70% de las amputaciones de miembros inferiores ocurren en la población diabética, subrayando la urgencia de métodos de diagnóstico temprano efectivos como la termografía infrarroja (6). El estudio revisó una amplia gama de literatura, incluyendo 26 artículos publicados entre 2013 y 2023, demostrando la seguridad, repetibilidad y no invasividad de la termografía infrarroja. Sin embargo, también identificó limitaciones significativas, como la falta de consenso en el uso de angiosomas y patrones de distribución de temperatura, además de la ausencia de evidencia

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

suficiente para el uso de la termografía en la prevención de complicaciones, sin especificar siquiera su uso en decisiones quirúrgicas como amputaciones. Estos hallazgos sugieren que, aunque la termografía infrarroja ofrece ventajas significativas, aún hay un margen considerable para mejorar la estandarización y aplicación de esta tecnología en el diagnóstico y manejo del pie diabético (6). La discusión del estudio también aborda la comparación de la temperatura del pie entre pacientes diabéticos y no diabéticos, lo que refuerza la utilidad de la termografía como una herramienta potencial para la detección temprana de riesgos asociados al pie diabético (6). La capacidad de la termografía para detectar diferencias de temperatura significativas, incluso antes de la manifestación clínica de úlceras, puede ser clave para implementar intervenciones preventivas y terapéuticas tempranas, reduciendo así el riesgo de amputaciones. Este análisis refuerza la necesidad de continuar investigando y desarrollando métodos termográficos más precisos y estandarizados, que puedan ser implementados de manera efectiva en la práctica clínica para el manejo del pie diabético (6).

En el ámbito experimental, el estudio de Alfred Gatt aporta una dimensión significativa al análisis de la termografía en el contexto del pie diabético. Este estudio observacional transversal se distingue por su enfoque en la correlación entre las variaciones de temperatura capturadas mediante una cámara infrarroja FLIR SC7200 y las complicaciones asociadas a la diabetes, tales como neuropatía, enfermedad arterial periférica (EAP) y neuroisquemia (7). Los resultados del estudio aportan una visión innovadora sobre la termorregulación del pie diabético. Al analizar imágenes térmicas de un espectro diverso de pies (43 pies neuroisquémicos, 41 pies neuropáticos, 58 pies con EAP, 21 pies de diabéticos sin complicaciones y 126 pies sanos), el estudio no encontró diferencias significativas en las temperaturas medias de los dedos y del antepié entre sujetos sanos y aquellos con diabetes, pero sin complicaciones. Sin embargo, se observaron temperaturas significativamente más altas en pies con complicaciones en comparación con los pies sanos y diabéticos sin complicaciones, destacando la temperatura como un predictor significativo de complicaciones (7). Este enfoque cuantitativo, apoyado por análisis de regresión logística, subraya el valor de la temperatura como un indicador crítico. Los modelos de regresión demostraron que las probabilidades de tener complicaciones se incrementan por cada aumento de 1°C en la temperatura, con Odds Ratios (OR) de 1.247 para los dedos y 1.289

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

para el antepié, respectivamente. Estos resultados sugieren que un incremento en la temperatura del pie podría predecir el desarrollo de complicaciones graves antes de la manifestación clínica de una úlcera (7). Por tanto, Gatt no solo proporcionan una base empírica sólida para el uso de la termografía en la detección de complicaciones del pie diabético, sino que también instan a la comunidad médica a reconsiderar y expandir el papel de esta tecnología dentro de un marco preventivo y terapéutico más amplio (7).

Van Netten y colaboradores argumentan a favor de un enfoque innovador mediante la telemedicina automatizada, capaz de superar estas barreras al proporcionar una detección temprana y objetiva de signos precursores de complicaciones del pie en pacientes diabéticos (4). La clave de este enfoque radica en la identificación de diferencias de temperatura en la superficie plantar del pie, las cuales son indicativas de inflamación —un precursor de la ulceración y la infección. Al establecer un valor de corte de 2,2°C para diferenciar la presencia de inflamación, este método demostró ser capaz de reducir significativamente el riesgo de complicaciones (4). Este estudio incluyó a 54 pacientes con diabetes mellitus, diagnosticados con neuropatía periférica, y utilizó la termografía para medir las variaciones de temperatura en los pies. Los resultados indicaron que la temperatura media del pie varió entre 20,6°C y 36,2°C, y que la diferencia de temperatura media entre el pie izquierdo y derecho fue significativamente mayor en los pacientes que necesitaban tratamiento inmediato, subrayando la importancia de la termografía como herramienta de cribado (4). La investigación de van Netten et al. refuerza la propuesta de que la termografía, especialmente cuando se combina con la telemedicina, puede servir como un indicador sensible para la detección de complicaciones del pie diabético. Contribuye significativamente a tratar de validar la termografía como un método eficaz para el cribado y la prevención de complicaciones en el pie diabético, enfatizando la necesidad de una mayor investigación y desarrollo de protocolos clínicos que integren esta tecnología. Esta aproximación alienta a una reevaluación de las prácticas actuales y sugiere un camino hacia una gestión más proactiva y basada en la evidencia del pie diabético. Sin embargo, el estudio también reconoce la necesidad de establecer puntos de corte específicos y estandarizados para maximizar la especificidad y la utilidad clínica de esta herramienta (4).

El estudio de Roback destaca un enfoque crucial en la lucha contra las complicaciones derivadas de la diabetes mellitus, que representa el 3% de todas las discapacidades en países de altos ingresos, principalmente debido a enfermedades del pie y las subsiguientes amputaciones de las extremidades inferiores (8). A pesar de que un tratamiento temprano y adecuado puede prevenir muchas de estas complicaciones graves, la incidencia de situaciones que amenazan las extremidades, como úlceras infectadas, gangrena o pie de Charcot, sigue siendo alta debido a un diagnóstico tardío y a un bajo cumplimiento del tratamiento. Los costes asociados con el manejo de estas complicaciones son notables, con estimaciones que señalan que el coste total de una úlcera del pie debido a la diabetes puede alcanzar hasta los 25.222 euros en casos que requieren amputación mayor (8). Esta situación subraya la necesidad de métodos diagnósticos más eficientes y menos intrusivos, como la termografía infrarroja.

Hasta la fecha, la termografía infrarroja no ha sido adoptada en la atención sanitaria de nuestra unidad. No obstante, ofrece un método no invasivo y objetivo para evaluar las alteraciones térmicas en los pies, lo que podría indicar un mayor riesgo de desarrollar úlceras o amputaciones. A través de estudios como el de Roback et al. y la implementación de dispositivos como el SpectraSole Pro-1000, se ha explorado la viabilidad de esta tecnología en el cuidado preventivo del pie diabético (8). Estos esfuerzos han revelado un aumento significativo en la temperatura media de la planta del pie en pacientes con diabetes en comparación con sujetos sanos, destacando el potencial de la termografía infrarroja como una herramienta útil en la detección temprana de complicaciones.

Sin embargo, la implementación de esta tecnología enfrenta desafíos, incluyendo la necesidad de estandarizar los protocolos de medición y el desarrollo de instrumentos que permitan una adquisición rápida y eficiente de imágenes térmicas. Además, la variabilidad en las características de los dispositivos de imágenes térmicas y los métodos de adquisición de imágenes subraya la importancia de la investigación continua para optimizar el uso de la termografía en el manejo del pie diabético (8).

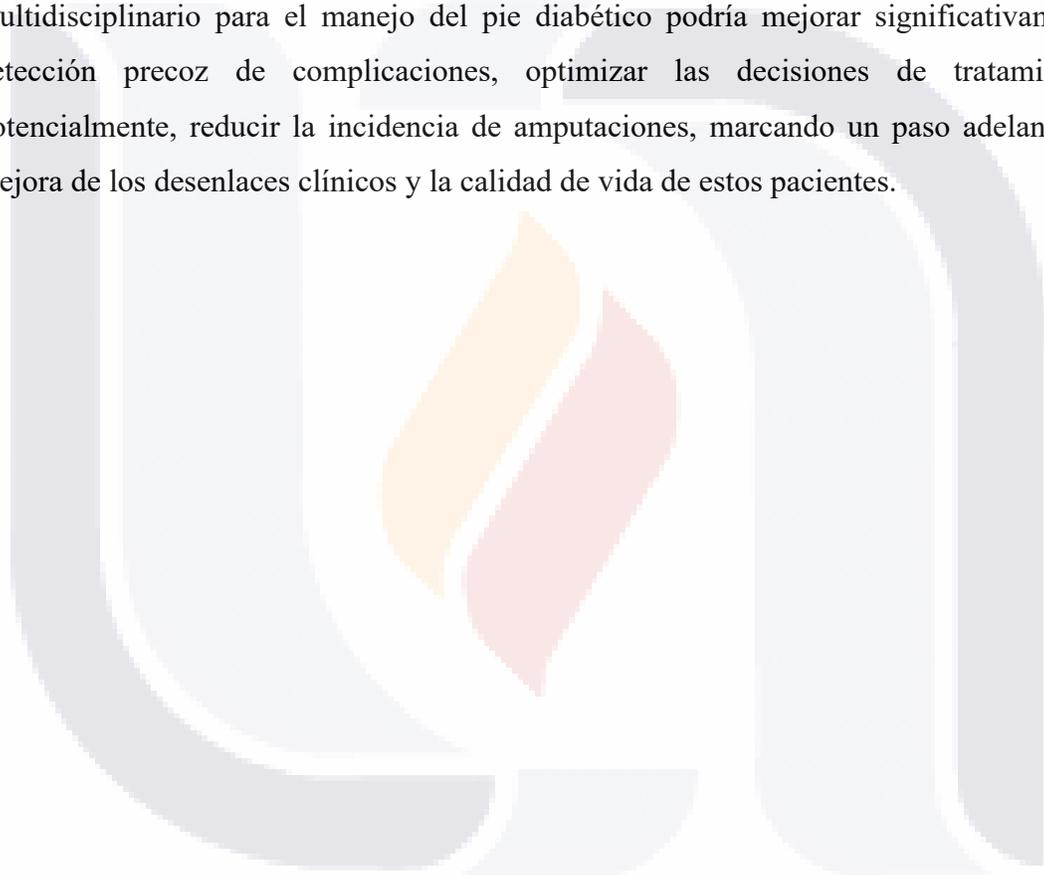
El estudio de Roback resalta la importancia de la detección temprana y el tratamiento preventivo en la gestión de las complicaciones del pie diabético, sugiriendo que la termografía infrarroja puede desempeñar un papel crucial en este proceso (8). A medida que avanzamos, es imperativo que se realicen más investigaciones para confirmar la eficacia de la termografía como herramienta de diagnóstico, establecer valores de corte precisos y desarrollar protocolos estandarizados que faciliten su integración en la atención sanitaria estándar para el beneficio de los pacientes con diabetes.

La investigación de David G Armstrong profundiza en el desafío persistente de tratar las heridas del pie diabético, subrayando el riesgo significativo de infección y la posibilidad de amputación (5). Reconociendo la importancia de determinar la gravedad de una IPD para dirigir adecuadamente el tratamiento, este estudio pone de relieve la subjetividad de los parámetros clínicos tradicionales y la necesidad de marcadores más confiables.

La termografía plantar (TP) emerge como una herramienta potencialmente revolucionaria en este ámbito, ofreciendo una medida cuantitativa de la inflamación a través de la temperatura de la superficie de la piel. El estudio de Armstrong et al. explora la utilidad de la TP no solo para diagnosticar y monitorear la curación de la osteoartropatía neuropática diabética (artropatía de Charcot) sino también para evaluar la gravedad de la IPD (5). La hipótesis subyacente es que las diferencias en la temperatura de la piel del pie afectado en comparación con el sitio correspondiente en el pie contralateral pueden correlacionarse con la gravedad de la infección, marcadores de laboratorio de inflamación, o la respuesta clínica al tratamiento antimicrobiano.

Los resultados del estudio SIDESTEP, aunque no encontraron una correlación general entre la diferencia de temperatura de la piel y el resultado clínico, sugieren un efecto umbral en la TP. Específicamente, una diferencia de temperatura de la piel de $\geq 10^{\circ}\text{F}$ al inicio indicó una respuesta clínica significativamente menor en comparación con aquellos con una diferencia de $< 10^{\circ}\text{F}$. Este hallazgo propone un umbral significativo para prever el resultado del tratamiento, resaltando la TP como una herramienta potencialmente valiosa en la estratificación del riesgo y la toma de decisiones clínicas para pacientes con IPD (5).

Con estos datos y el enfoque propuesto, se subraya la relevancia de integrar las capacidades diagnósticas de la termografía en las prácticas médicas actuales, orientando la gestión del pie diabético hacia una estrategia proactiva de prevención y tratamiento temprano. Este análisis resalta la necesidad de estudios adicionales que exploren el potencial de la termografía en el contexto del pie diabético, específicamente en la detección temprana de IPD, la evaluación de su severidad y riesgo de amputación. La integración de la termografía en un enfoque multidisciplinario para el manejo del pie diabético podría mejorar significativamente la detección precoz de complicaciones, optimizar las decisiones de tratamiento y, potencialmente, reducir la incidencia de amputaciones, marcando un paso adelante en la mejora de los desenlaces clínicos y la calidad de vida de estos pacientes.



4.-Marco Conceptual:

Diabetes Mellitus: grupo heterogéneo de trastornos caracterizados por hiperglucemia e intolerancia a la glucosa. Categorías: C18.452.394.750; C19.246. (9)

Pie Diabético: problemas comunes del pie en personas con diabetes mellitus, causados por una combinación de factores como las neuropatías diabéticas, enfermedades vasculares periféricas y la infección. con la pérdida de sensibilidad y la pobre circulación, las heridas e infecciones a menudo dan lugar a úlceras del pie graves, gangrena y amputación quirúrgica. Categorías: C14.907.320.191; C17.800.893.592.450.200; C19.246.099.500.191; C19.246.099.937.250. (9)

Termografía: imágenes de las temperaturas en un material, o en el cuerpo o un órgano. las imágenes se basan en la auto-emanación de radiación infrarroja (rayos infrarrojos), o en cambios en las propiedades del material o tejido que varían con la temperatura, como la elasticidad; campo magnético; o luminiscencia. Categorías: E01.370.350.800; E05.933.500. (9)

Amputación quirúrgica: Separación quirúrgica de una parte o la totalidad de un miembro u otro apéndice o excrescencia del cuerpo. Categorías: E04.555.080. (9)

4.1.- Modelos y Teorías:

Introducción

El aumento significativo de casos de diabetes mellitus y sus complicaciones, como el pie diabético, resalta la importancia de desarrollar estrategias avanzadas de detección y prevención. Entre estas, la termografía infrarroja se ha propuesto como una herramienta eficaz para identificar alteraciones térmicas asociadas a inflamación y riesgos potenciales de ulceración (1)(2). La implementación de la termografía podría, por lo tanto, ser decisiva no sólo para señalar pacientes en riesgo de ulceraciones sino también para determinar aquellos que se beneficiarían de una intervención quirúrgica temprana, marcando una evolución significativa en el manejo del pie diabético hacia estrategias preventivas más efectivas y personalizadas.

Esta necesidad nos lleva directamente a explorar la fisiopatología del pie diabético, donde las alteraciones termográficas sirven como un temprano indicador de disfunciones subyacentes, esenciales para comprender cómo la termografía puede cambiar el paradigma del diagnóstico y tratamiento.

Fisiopatología

Este modelo se fundamenta en la teoría de que las alteraciones en la temperatura de la superficie cutánea, detectadas mediante termografía, son indicativas de alteraciones subyacentes en la microcirculación y la función nerviosa periférica (3). Estos cambios termográficos pueden preceder a la aparición de síntomas clínicos y ofrecen una oportunidad crítica para la intervención temprana.

Teorías Subyacentes:

- Teoría de la Microcirculación Alterada: Sugiere que las deficiencias en el flujo sanguíneo capilar en pacientes con diabetes mellitus desempeñan un papel crítico en el desarrollo de complicaciones como el pie diabético. Estas anomalías pueden detectarse tempranamente mediante termografía infrarroja, que identifica áreas con aumento de temperatura asociadas a inflamación y daño tisular (1)(16).
- Teoría de la Neuropatía Periférica: Sugiere que la disfunción de los nervios periféricos en pacientes diabéticos lleva a una disminución de la sensación en los pies, aumentando el riesgo de lesiones y complicaciones. La termografía puede servir como un indicador temprano de áreas con disfunción nerviosa, manifestadas por cambios en la distribución de la temperatura. (1)

El modelo propuesto conecta la diabetes mellitus, la neuropatía periférica y las alteraciones en la microcirculación con los patrones térmicos observados mediante termografía (7). Este enfoque constituye el núcleo del modelo de "modelos y teorías". Este modelo integra:

- Variables Fisiológicas: Como la presencia de neuropatía periférica y la alteración de la microcirculación, que se relacionan directamente con el riesgo de complicaciones del pie diabético. (1)

- Variables Diagnósticas: Representadas por los datos termográficos que proporcionan una evaluación objetiva y cuantitativa de las alteraciones termográficas asociadas con el pie diabético. (6)

Entender estas bases teóricas nos posiciona para cuestionar los métodos convencionales de diagnóstico, destacando la necesidad de herramientas más avanzadas como la termografía para identificar riesgos antes de que evolucionen a complicaciones graves.

Diagnóstico:

Un diagnóstico oportuno y exhaustivo del pie diabético resulta crucial para prevenir complicaciones severas como úlceras o amputaciones. Este enfoque incluye inspecciones visuales regulares durante las consultas, con especial atención a factores como cuidado inadecuado de las uñas, uso de calzado inapropiado y presencia de infecciones o callos. Asimismo, un examen físico detallado realizado al menos una vez al año puede facilitar la detección precoz de riesgos antes de que evolucionen hacia etapas avanzadas (1)(10).

Las técnicas tradicionales, como la inspección visual y la palpación manual de pulsos, presentan limitaciones inherentes, ya que dependen en gran medida de la experiencia del clínico y pueden pasar por alto cambios microvasculares o neuropáticos en etapas tempranas de la enfermedad. Estas limitaciones refuerzan la necesidad de herramientas diagnósticas objetivas y complementarias (8)(10).

La prueba de monofilamento y el índice tobillo-brazo (ITA) son herramientas diagnósticas valiosas, pero su eficacia puede verse comprometida en pacientes con ciertas condiciones, como la calcificación arterial, que es común en la diabetes y puede llevar a falsos resultados normales del ITA (10). Además, estas pruebas no proporcionan información sobre la inflamación local o la perfusión sanguínea a nivel microvascular, factores críticos en la patogénesis del pie diabético.

Para destacar las deficiencias y discordancias entre los modelos clínicos y paraclínicos en el manejo del pie diabético, se puede abordar cómo la evaluación clínica convencional, aunque esencial, a menudo no detecta alteraciones tempranas que preceden a complicaciones

severas. Las herramientas clínicas estándar, como la inspección visual y la palpación de pulsos, pueden no revelar cambios microvasculares o neuropáticos iniciales (1). En contraste, las modalidades paraclínicas, como las pruebas de imagen y la termografía, ofrecen información detallada sobre la perfusión sanguínea y la integridad de los tejidos no apreciables a simple vista (8).

Sin embargo, la discordancia surge en la interpretación y la aplicación práctica de estos hallazgos paraclínicos. La termografía infrarroja se perfila como una herramienta revolucionaria en el diagnóstico del pie diabético, al proporcionar imágenes detalladas de alteraciones térmicas que pueden indicar inflamación o isquemia antes de que sean evidentes mediante métodos clínicos tradicionales. Sin embargo, su incorporación en guías de manejo estándar aún es limitada, lo que subraya la necesidad de investigación adicional para validar su aplicación clínica (8). Esta brecha entre la detección temprana posible a través de herramientas paraclínicas y las estrategias de intervención clínica establecidas subraya la necesidad de un enfoque más holístico y multidisciplinario en el tratamiento del pie diabético, que combine lo mejor de ambos mundos para una gestión óptima del paciente (10).

La identificación de estas limitaciones diagnósticas nos lleva a la termografía, una modalidad que trasciende estas barreras ofreciendo una perspectiva más amplia y precisa de la condición del pie diabético a través de la visualización de cambios térmicos.

Temperatura y calor:

Los cuerpos están formados por moléculas en constante movimiento, cuya velocidad varía según la energía presente en ellas. Esta energía, llamada calor, se asocia con la noción de "caliente" o "frío" según la temperatura del cuerpo. El calor se define como la energía total asociada con el movimiento molecular de un cuerpo, mientras que la temperatura es una medida de la intensidad promedio de esa energía. Aunque están relacionadas, el calor depende de factores como la masa y la capacidad calorífica, mientras que la temperatura refleja únicamente el nivel energético por molécula. Cuando dos cuerpos a diferentes temperaturas entran en contacto, se produce una transferencia de calor hasta alcanzar un equilibrio térmico. La temperatura corporal humana se mantiene dentro de un rango

específico mediante mecanismos de generación y pérdida de calor, permitiendo al cuerpo adaptarse a diferentes condiciones (11).

Las leyes fundamentales de la termodinámica, como la conservación de la energía y el equilibrio térmico, rigen el comportamiento del calor en los sistemas físicos. La transferencia de calor puede ocurrir por conducción, convección y radiación, cada una con mecanismos específicos (11).

La radiación infrarroja (IR) es un tipo de energía electromagnética emitida por objetos en función de su temperatura. Esta radiación se origina a partir de transiciones en los niveles de energía molecular y tiene longitudes de onda que se alargan a medida que disminuye la temperatura del cuerpo emisor. La emisividad es una propiedad intrínseca de los materiales que define su capacidad para emitir radiación infrarroja. En el caso de la piel humana, esta propiedad es cercana al máximo valor posible, lo que facilita la detección de cambios térmicos mediante herramientas como la termografía. El espectro electromagnético abarca desde radiaciones de alta energía, como los rayos gamma, hasta ondas de menor energía, como las ondas de radio. La luz visible, parte del espectro, es percibida por el ojo humano y se compone de diferentes longitudes de onda (Fig 1) (11).

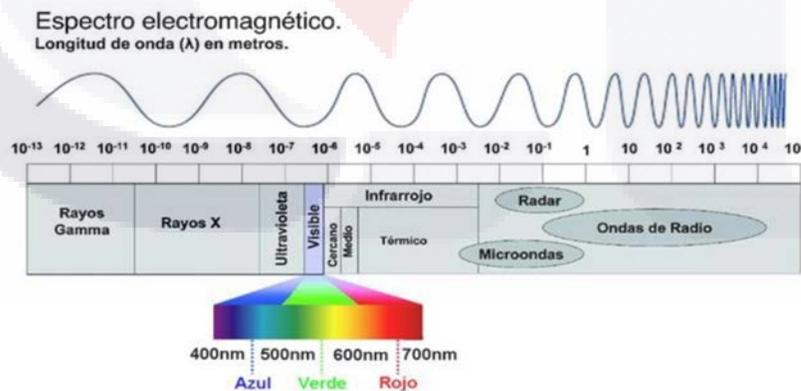


Fig 1: Esquema del espectro electromagnético, que muestra las diferentes radiaciones, desde los rayos gamma de alta energía hasta las ondas de radio de baja energía, con la luz visible en el medio.

Termografía:

La termografía infrarroja se propone como una herramienta innovadora para el diagnóstico y seguimiento del pie diabético. Este método se basa en principios de la física térmica, permitiendo medir la radiación infrarroja emitida por la piel para detectar alteraciones térmicas que pueden ser indicativas de inflamaciones o infecciones tempranas. Dado que cualquier alteración en la homeostasis local, como inflamaciones, infecciones, o cambios en la perfusión sanguínea, puede modificar la temperatura de un área específica, la termografía permite identificar estas anomalías con precisión y anticipación (3).

El fundamento de la termografía radica en la capacidad de los cuerpos para emitir radiación infrarroja proporcional a su temperatura. Los dispositivos de termografía actuales convierten la radiación infrarroja emitida por la piel en imágenes detalladas que representan variaciones de temperatura mediante un espectro cromático (Fig 2) (3). La capacidad de la termografía para visualizar variaciones térmicas en el cuerpo humano permite identificar áreas con riesgo elevado de ulceración en los pies de pacientes con diabetes. Estas anomalías térmicas suelen preceder a los signos clínicos visibles, lo que proporciona una ventaja significativa en la prevención y manejo temprano del pie diabético.

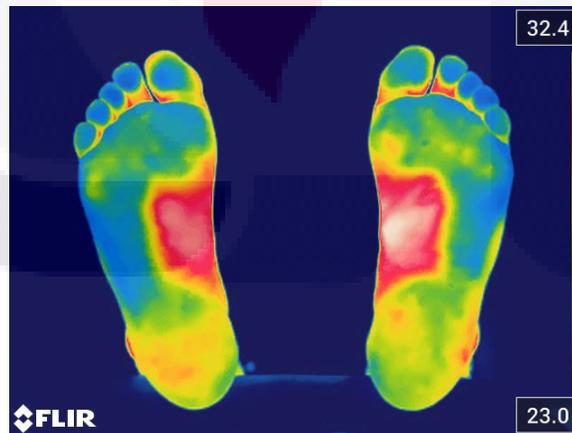


Fig 2: representación visual del mapa térmico de la planta del pie. En este mapa, las áreas de mayor temperatura se muestran en colores más cálidos, mientras que las áreas de menor temperatura se representan en tonos más fríos.

La termografía infrarroja ofrece una evaluación objetiva y cuantitativa de la temperatura cutánea, eliminando la subjetividad inherente a las evaluaciones clínicas tradicionales. Esta tecnología permite detectar cambios térmicos sutiles, proporcionando una herramienta valiosa para identificar alteraciones fisiológicas en etapas tempranas de la enfermedad. Al identificar zonas de aumento o disminución de la temperatura cutánea, la termografía ofrece una ventana única hacia el estado fisiológico subyacente del pie diabético, incluyendo la detección temprana de neuropatía, isquemia y procesos inflamatorios antes de la ulceración (3).

La termografía no solo facilita la identificación temprana de complicaciones, sino que también respalda un enfoque preventivo y personalizado en el manejo del pie diabético. Esto permite diseñar estrategias de tratamiento adaptadas a las necesidades individuales de los pacientes, reduciendo el riesgo de complicaciones graves y la necesidad de procedimientos quirúrgicos como amputaciones (3)(4).

Conclusión:

La incorporación de la termografía en el manejo del pie diabético permite identificar tempranamente áreas con inflamación que podrían progresar hacia complicaciones graves, como ulceraciones. Además, esta herramienta diagnóstica ofrece la capacidad de predecir, con mayor precisión, qué pacientes tienen un riesgo elevado de necesitar intervenciones quirúrgicas, incluidas amputaciones (16)(17). Esta aproximación permite un enfoque más dirigido y personalizado, en el que las asimetrías termográficas detectadas no solo señalan la urgencia de medidas preventivas sino que también pueden sugerir la necesidad de considerar o descartar opciones quirúrgicas. La detección temprana de riesgos mediante termografía permite a los clínicos tomar decisiones más informadas y proactivas, mejorando los pronósticos del paciente. Este enfoque no solo minimiza la necesidad de intervenciones quirúrgicas invasivas, sino que también mejora la calidad de vida al prevenir complicaciones graves desde etapas tempranas (16)(17).

5.-Justificación

Relación con prioridades de la región y el país

Este estudio se alinea con las prioridades de investigación del Instituto Mexicano del Seguro Social, enfocándose en la diabetes mellitus como una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en México. Además de su impacto en la salud pública, esta enfermedad representa una carga económica significativa, lo que subraya la necesidad urgente de desarrollar estrategias innovadoras para su manejo. Según el estudio de Pico-Guzmán, el costo asociado a estas complicaciones se proyecta en miles de millones de pesos, evidenciando la urgencia de estrategias preventivas y de manejo efectivo (12). De igual manera, en el trabajo de Torres-Machorro resalta cómo el manejo del pie diabético y las amputaciones derivadas de este problema, representan un desafío significativo con costos directos e indirectos que afectan tanto a individuos como a instituciones como el IMSS (13).

El objetivo principal de este estudio no es reducir directamente la incidencia de amputaciones, sino caracterizar los patrones termográficos plantares en pacientes con pie diabético atendidos en el área de urgencias. Este enfoque busca evaluar la utilidad de la termografía infrarroja como herramienta diagnóstica para optimizar el manejo clínico y quirúrgico de estos pacientes (13). Esto podría revelar si la termografía plantar resulta una herramienta útil para agilizar el manejo quirúrgico, indicando amputaciones cuando sean estrictamente necesarias, o bien para reforzar el enfoque hacia el manejo médico en aquellos pacientes que no requieran intervenciones quirúrgicas. Este enfoque tiene el potencial de mejorar las decisiones quirúrgicas inmediatas y de sentar las bases para futuras investigaciones sobre el uso de la termografía en intervenciones clínicas. Además, su implementación podría alinearse con las prioridades nacionales de salud pública al reducir los costos asociados con complicaciones graves y mejorar la calidad de vida de los pacientes (13).

Conocimiento e información

Este estudio propone el uso de termografía infrarroja, empleando las cámaras FLIR One disponibles en el servicio de cirugía general, como una herramienta innovadora para evaluar

objetivamente el riesgo de amputación en pacientes con pie diabético. Este enfoque apunta a mejorar la precisión diagnóstica mediante el análisis de patrones térmicos asociados con inflamación e isquemia, que suelen preceder a complicaciones graves (17). Al fundamentar las decisiones quirúrgicas en datos objetivos y análisis estadísticos, se supera la subjetividad y se potencia la eficacia en la gestión de recursos. La implementación de termografía infrarroja como herramienta diagnóstica no solo tiene el potencial de optimizar las decisiones clínicas, sino que también establece un nuevo estándar de atención médica preventiva y personalizada. Este avance podría traducirse en mejores resultados clínicos y una calidad de vida superior para los pacientes.

Finalidad y conocimiento

Nos concentraremos en caracterizar al paciente diabético con base en la termografía con respecto a su desenlace médico quirúrgico. Con ello, generar un enfoque pionero tiene tanto el potencial como finalidad de reformar la práctica clínica en el Hospital General de Zona No. 3, así como de influir en las políticas de salud pública a nivel nacional. Al ofrecer una metodología objetiva y no invasiva para la evaluación del riesgo de amputación, neste estudio contribuirá significativamente a la creación de estrategias preventivas más efectivas, alineándose con las prioridades de salud de la región y el país.

Difusión de resultados

La difusión de los hallazgos se realizará a través de publicaciones en revistas científicas, presentaciones en conferencias institucionales, y talleres de formación para nuevos médicos laborales, asegurando que el conocimiento generado alcance a los principales actores en el cuidado de la diabetes. Esto permitirá no solo la adopción de la termografía en la práctica clínica habitual, sino también la formación de una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones clínicas en la gestión de la diabetes y sus complicaciones.

Uso de resultados y beneficiarios

En el Hospital General de Zona No. 3 en Jesús María, Aguascalientes, el uso de la termografía para el tratamiento del pie diabético destaca como una innovación frente a la amenaza de amputaciones, una realidad aún demasiado común que afecta gravemente tanto a pacientes

como al sistema de salud del IMSS. Este enfrenta un gran desafío económico, no solo por los costos de las cirugías sino también por las incapacidades que debe cubrir, destacando la importancia de métodos preventivos y diagnósticos precisos como la termografía.

Magnitud, frecuencia y distribución.

En México, la prevalencia de la diabetes y sus complicaciones, como el pie diabético, ha mostrado una tendencia ascendente, reflejando un desafío creciente para el sistema de salud y la economía, con estimaciones que sugieren que más de 12 millones de mexicanos viven con esta condición. Esta cifra es alarmante, sobre todo que la Federación Internacional de Diabetes proyecta que la población mexicana con diabetes mellitus podría superar los 21.8 millones para el año 2045 (12). Dentro de este contexto, el pie diabético emerge como una complicación frecuente y grave, siendo responsable de entre el 25 al 90% de las amputaciones no traumáticas a nivel mundial (13). En México, esta complicación no solo representa una carga física para los pacientes, sino también un desafío económico significativo. Mientras que el costo anual de atender a un paciente con diabetes sin complicaciones es manejable, este escenario cambia dramáticamente con la aparición de complicaciones como el pie diabético. Los costos de atención pueden superar los 300,000 pesos por paciente, evidenciando la necesidad de estrategias de prevención y manejo efectivo. En 2013, los costos asociados a la diabetes en México representaron el 2.25% del PIB (12), lo que subraya la magnitud del impacto económico de esta enfermedad.

Causas probables del problema:

El pie diabético como la principal causa de amputación no traumática exige soluciones que permitan actuar antes de que las complicaciones escalen a este desenlace, el cual, hasta ahora se decide mayormente por la experiencia del cirujano con pocas herramientas objetivas. Aunque se disponga de escalas clínicas como la de Wagner y la clasificación de la Universidad de Texas para la valoración de las heridas del pie diabético, estas herramientas fueron diseñadas con propósitos distintos y, por tanto, tienen limitaciones significativas en su capacidad para predecir la necesidad de una amputación. La escala de Wagner, por ejemplo, se enfoca en la profundidad de la herida y la presencia de gangrena, pero no considera de manera directa otros factores críticos como la perfusión sanguínea o el estado

inflamatorio, que son determinantes en el proceso de cicatrización y en el riesgo de infección. Similarmente, la clasificación de la Universidad de Texas incluye la presencia de infección y la isquemia, pero su enfoque estático no captura la dinámica de la evolución de la herida a lo largo del tiempo ni proporciona una predicción clara sobre la progresión hacia una mayor severidad que podría justificar una amputación (11).

Soluciones posibles

Este vacío en la capacidad analítica de las herramientas existentes subraya la necesidad urgente de desarrollar métodos diagnósticos y de evaluación que incorporen de manera integral tanto los aspectos fisiológicos como metabólicos que influyen en la salud del tejido. La termografía, en este sentido, representa una opción viable al ofrecer una visión más comprensiva de la condición del pie diabético. Al medir las variaciones de temperatura en la superficie de la piel, la termografía puede identificar áreas de inflamación o de reducida perfusión sanguínea antes de que se manifiesten clínicamente, proporcionando así un indicador de riesgo elevado para la amputación.

Basándonos en los antecedentes revisados; la termografía emerge como un método capaz de caracterizar estados clínicos asociados a complicaciones o desenlaces adversos, convirtiéndose en un factor decisivo para optar informadamente por una amputación. Esta tecnología no solo promete mejorar sustancialmente la calidad de vida de los pacientes al evitar hospitalizaciones extendidas y cirugías invasivas, sino que también apunta a una reducción significativa en los costos asociados al manejo del pie diabético, incluyendo incapacidades, insumos médicos y procedimientos quirúrgicos, beneficiando así al sistema de salud.

Preguntas sin respuesta

En la actualidad, el Hospital General de Zona No. 3 en Jesús María, Aguascalientes, enfrenta un reto significativo en el manejo de pacientes con pie diabético, una de las complicaciones más graves asociadas a la diabetes mellitus. A pesar de los esfuerzos por mejorar los desenlaces clínicos, la decisión sobre si proceder o no a la amputación se basa en gran medida en la evaluación clínica y la experiencia del cirujano, lo que a menudo resulta en decisiones

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

tardías que pueden afectar negativamente la calidad de vida del paciente y aumentar los costos para el sistema de salud.

La termografía plantar, una tecnología disponible en el servicio de cirugía general a través de cámaras FLIR One, surge como una innovadora solución potencial para este dilema. Ofrece la posibilidad de detectar precozmente alteraciones termográficas que señalan un riesgo aumentado de necesitar una amputación, permitiendo así intervenciones más tempranas y posiblemente menos invasivas. Sin embargo, el rendimiento diagnóstico de la termografía plantar en la evaluación precisa del riesgo de amputación aún no se ha investigado suficientemente en nuestro contexto, lo que deja un vacío crítico en el conocimiento y en la práctica médica actual.

La pregunta central que guía esta investigación es: ¿Puede la termografía plantar, mediante la identificación de alteraciones termográficas, caracterizar de manera significativa a los pacientes con pie diabético complicado que requirieron amputación contra aquellos que no? La necesidad de responder a esta pregunta subraya la importancia de desarrollar esta tesis, no solo para llenar el vacío existente en la literatura médica sino también para proporcionar una base de evidencia que pueda transformar la práctica clínica actual.

Este estudio busca establecer la termografía plantar como una herramienta objetiva y no invasiva para mejorar la detección temprana del riesgo de amputación en pacientes con pie diabético, contribuyendo así a un manejo médico más informado y personalizado. Al hacerlo, esta investigación promete no solo mejorar la calidad de vida de los pacientes afectados, sino también ofrecer una solución potencial para reducir la carga económica asociada con las amputaciones en el sistema de salud, alineándose con las prioridades de salud pública tanto a nivel regional como nacional. La relevancia de este estudio radica en su potencial para influir en las políticas de salud y en la práctica médica, marcando un avance significativo en el cuidado de una de las complicaciones más desafiantes de la diabetes.

6.- Pregunta de investigación:

¿Puede la termografía plantar, mediante la identificación de alteraciones termográficas, caracterizar de manera significativa a los pacientes con pie diabético complicado que requirieron amputación contra aquellos que no?



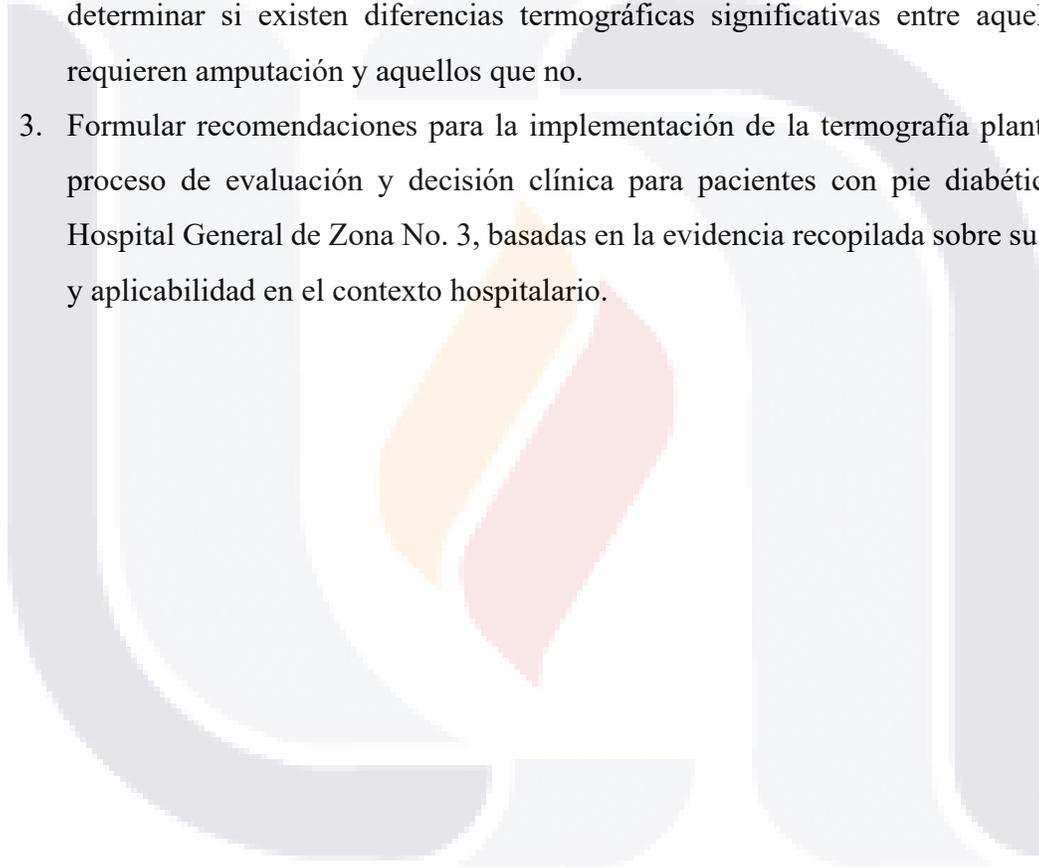
7.- Objetivo General:

Caracterizar a los pacientes diabéticos con amputación de extremidad inferior mediante termografía en el Hospital General de Zona No. 3 en Jesús María, Aguascalientes, para establecer patrones termográficos asociados con el desenlace de amputación.



8.- Objetivos específicos:

1. Caracterizar las variaciones termográficas plantares en pacientes con pie diabético hospitalizados en el Hospital General de Zona No. 3 en Jesús María, Aguascalientes, identificando patrones termográficos específicos asociados con la necesidad de amputación.
2. Analizar la relación entre los patrones termográficos plantares y la decisión clínica de amputación en pacientes con pie diabético, utilizando análisis estadísticos para determinar si existen diferencias termográficas significativas entre aquellos que requieren amputación y aquellos que no.
3. Formular recomendaciones para la implementación de la termografía plantar en el proceso de evaluación y decisión clínica para pacientes con pie diabético en el Hospital General de Zona No. 3, basadas en la evidencia recopilada sobre su eficacia y aplicabilidad en el contexto hospitalario.



9.- Hipótesis:

Debido a la naturaleza instrumental del estudio, no se requiere formular una hipótesis.



10.-Metodología:

Diseño de la Investigación.

El presente trabajo, por su diseño, es un estudio comparativo, transversal

Lugar donde se desarrolló el estudio.

Hospital General de Zona No. 3 del Instituto Mexicano del Seguro Social en Jesús María, Aguascalientes, específicamente en los servicios de urgencias y cirugía general.

Universo de estudio.

Todos los pacientes diabéticos que acudieron al servicio de urgencias por complicaciones de pie diabético.

Población de estudio.

Pacientes diabéticos que acudieron a urgencias y fueron ingresados al servicio de Cirugía General del Hospital General de Zona No. 3 en Jesús María, Aguascalientes, por complicaciones asociadas al pie diabético para continuar su manejo, ya sea mediante intervenciones médicas o quirúrgicas.

Criterios de Selección

Criterios de Inclusión

- Pacientes con pie diabético complicado por infección unilateral.
- Pacientes de sexos femenino y masculino.
- Pacientes edad mayor o igual a 18 años y menor de 80
- Pacientes que han consentido su participación en el estudio

Criterios de Exclusión

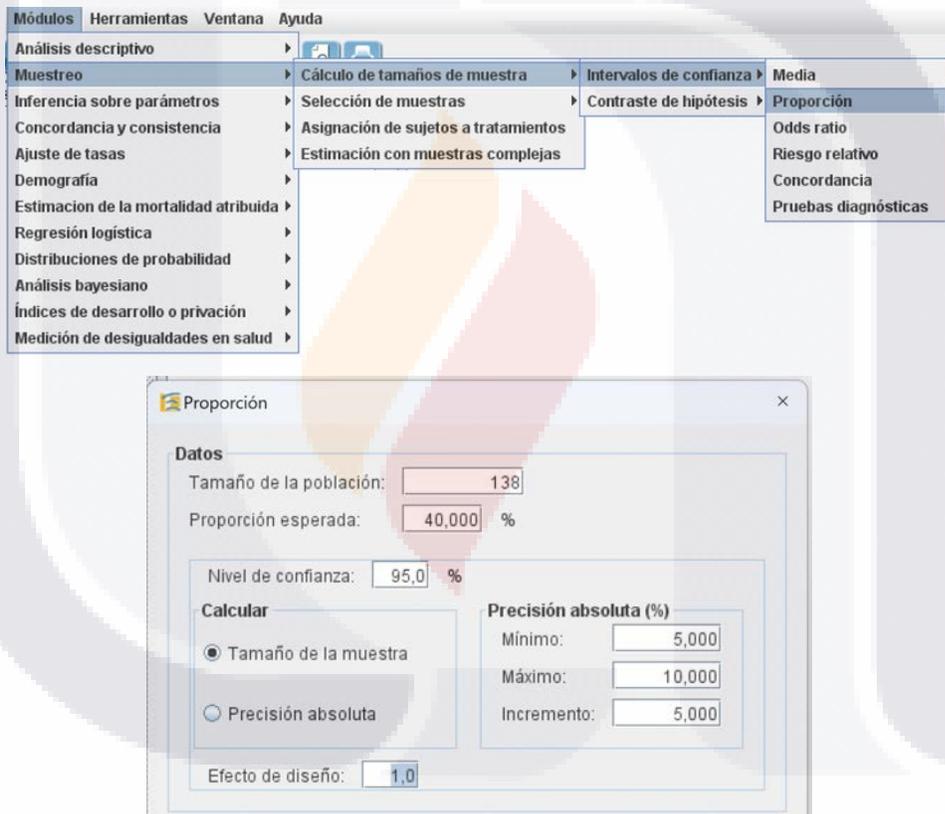
- Pacientes con amputaciones previas no relacionadas con complicaciones del pie diabético.
- Pacientes embarazadas
- Pacientes con choque séptico.
- Paciente con amputación parcial en hospitalización previa (Syme, Chopart)
- Pacientes con procedimientos de revascularización previos.
- Amputación infracondílea contralateral

Criterios de Eliminación

- Pacientes que decidan retirarse del estudio en cualquier momento.
- Pacientes que sean transferidos a otra unidad y que no pueda dar continuidad al protocolo
- Pacientes finados previo al término de la valoración del estudio.

Tamaño de Muestra

Para el cálculo del tamaño de muestra se utilizó por medio de la calculadora EPIDAT, para Tamaño de muestra por proporción.



Datos:

Tamaño de la población: 138
 Proporción esperada: 40,000%
 Nivel de confianza: 95,0%
 Efecto de diseño: 1,0

Resultados:

Precisión (%)	Tamaño de la muestra
5,000	101
10,000	56

Para este estudio se utilizó el total de ingresos anuales al hospital con este diagnóstico (138 pacientes) como base para calcular el tamaño de muestra necesario. Aplicando una fórmula para determinar tamaño de muestra por intervalos de confianza y proporción, y considerando una incidencia esperada de amputación del 40%, con un nivel de confianza del 95% y una precisión deseada entre 5% y 10%, se estimó un tamaño de muestra de 101 pacientes para alcanzar una precisión del 5% y de 56 pacientes para una precisión del 10%.

Operacionalización de las variables

Lista de variables

Variables demográficas:

- Edad del paciente en años.
- Sexo del paciente (masculino/femenino).
- Talla del paciente en centímetros.
- Peso del paciente en kilogramos.
- Índice de masa corporal

Variables clínicas:

- Hemoglobina glucosilada de control.
- Glucemia en ayuno el día del estudio.
- Tiempo de evolución de diabetes.
- Uso de hipoglucemiantes orales: Indicador binario (sí/no).
- Uso de insulina: Indicador binario (sí/no).
- Tensión arterial.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- Nivel de colesterol.
 - Nivel de triglicéridos.
 - Microalbuminuria.
 - Presencia de otras complicaciones diabéticas (retinopatía, nefropatía, etc.)
 - Estancia intrahospitalaria.
 - Pie afectado.
 - Localización de la úlcera.
 - Manejo quirúrgico: Indicador binario (sí/no).
 - Tipo de manejo quirúrgico (aseo quirúrgico, amputación).

Variables termográficas:

- Temperatura corporal

Angiosomas de cada pie:

- LCA pie derecho (Lateral calcaneal artery): Temperatura relacionada con la arteria lateral calcánea.
- LCA pie izquierdo (Lateral calcaneal artery): Temperatura relacionada con la arteria lateral calcánea.
- LPA pie derecho (Lateral plantar artery): Temperatura relacionada con la arteria lateral plantar.
- LPA pie izquierdo (Lateral plantar artery): Temperatura relacionada con la arteria lateral plantar.
- MCA pie derecho (Medial calcaneal artery): Temperatura relacionada con la arteria calcánea media.
- MCA pie izquierdo (Medial calcaneal artery): Temperatura relacionada con la arteria calcánea media.
- MPA pie derecho (Medial plantar artery): Temperatura relacionada con la arteria plantar medial.
- MPA pie izquierdo (Medial plantar artery): Temperatura relacionada con la arteria plantar medial.

<i>Definiciones y operacionalización de las variables de estudio</i>						
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Valor o escala	Tipo de variable	Codificación y unidad de medida
Edad	Tiempo transcurrido desde el día del nacimiento hasta el momento de la evaluación	Tiempo transcurrido desde el día del nacimiento hasta el momento de la evaluación	Numérico	Proporción	Cuantitativa	Años
Sexo	Características fenotípicas que diferencian a un varón de una mujer	Características fenotípicas que diferencian a un varón de una mujer	Lo descrito en expediente clínico	Femenino Masculino	Cualitativa dicotómica	0= Femenino 1= Masculino
Peso	Magnitud física que designa masa corporal	Masa corporal del paciente medida por una báscula calibrada en kilogramos (kg)	Numérico	Kilogramos	Cuantitativa continua	1= menor a 50 kg 2= 51-70 kg 3= 71-90 kg 3= 91-110 kg 5= mayor a 110 kg
Talla	Estatura del individuo, medida desde la planta del pie	Altura del paciente medida por antropómetro calibrado en metros (mts)	Numérico	Metros	Cuantitativa continua	1 = menor a 1.45 mts 2= 1.46-1.50 mts

	hasta el vértice de la cabeza.					3= 1.51-1.60 mts 4= 1.61-1.70 mts 5= 1.71-1.80 mts 6= mayor a 1.81 mts
índice de masa corporal (IMC)	Indicador del nivel de adiposidad corporal	Es la relación del peso corporal con la estatura y se calcula IMC = peso (kg)/Talla (mts) al cuadrado	numérico	Metros cuadrados	Cuantitativa continua	0 = menor a 18.5 kg/m ² 1= 18.5-24.9 kg/m ² 2= 25-30 kg/m ² 3= mayor a 30 kg/m ²
Comorbilidades	Enfermedades crónicas degenerativas previamente diagnosticadas	Enfermedades crónicas degenerativas previamente diagnosticadas	Lo descrito en el expediente clínico	No Sí	Cualitativa dicotómica	0 = No 1 = Si
Tiempo de evolución de Diabetes Mellitus	Duración desde el diagnóstico de la diabetes mellitus hasta el momento actual.	Número de años transcurridos desde el diagnóstico de diabetes mellitus por un profesional de la	Numérico	Años	Cuantitativa continua	1 = Menos de 5 años 2 = 5 a 10 años 3 = 11 a 15 años

		salud hasta la fecha de evaluación actual.				4 = Más de 15 años
Hemoglobina glucosilada de control	Porcentaje de hemoglobina que está glucosilada en la sangre, reflejando el control glucémico promedio en los últimos 2 a 3 meses	Porcentaje medido en la última analítica sanguínea	Numérico	Porcentaje (%)	Cuantitativa continua	%
Glucemia en ayuno	Nivel de glucosa en la sangre tras un periodo de ayuno	Nivel de glucosa medido en mg/dL después de un ayuno de al menos 8 horas	Numérico	mg/dL	Cuantitativa continua	mg/dL
Hipoglucemiantes orales	Uso de medicamentos orales para controlar los niveles de glucosa en la sangre en pacientes con diabetes mellitus	Registro de si el paciente está tomando medicamentos hipoglucemiantes orales al momento de la evaluación	Lo descrito en el expediente clínico	No/Sí	Cualitativa dicotómica	0 = No, 1 = Sí

Uso de insulina	Uso de insulina como tratamiento para controlar los niveles de glucosa en la sangre en pacientes con diabetes mellitus	Registro de si el paciente está utilizando insulina al momento de la evaluación	Lo descrito en el expediente clínico	No/Sí	Cualitativa dicotómica	0 = No, 1 = Sí
Tensión arterial	Presión del flujo sanguíneo contra las paredes de las arterias	Medida de la presión arterial sistólica y diastólica en mmHg	Numérico	mmHg	Cuantitativa continua	mmHg
Nivel de colesterol	Medida del colesterol total en la sangre	Concentración de colesterol total medida en mg/dL	Numérico	mg/dL	Cuantitativa continua	mg/dL
Nivel de triglicéridos	Medida de la cantidad de triglicéridos presentes en la sangre	Concentración de triglicéridos medida en mg/dL	Numérico	mg/dL	Cuantitativa continua	mg/dL
Microalbuminuria	Presencia de pequeñas cantidades de albúmina en la orina, indicativo de daño renal incipiente	Relación albúmina/creatinina en una muestra de orina	Numérico	mg/g	Cuantitativa continua	mg/g

Presencia de otras complicaciones diabéticas	Existencia de complicaciones adicionales a la diabetes mellitus, como la neuropatía, retinopatía, nefropatía, entre otras	Registro de la presencia de complicaciones adicionales basado en el diagnóstico clínico	Lo descrito en el expediente clínico	No/Sí	Cualitativa dicotómica	0 = No, 1 = Sí
Estancia intrahospitalaria	Duración de la estancia del paciente en el hospital durante el tratamiento de la diabetes o sus complicaciones	Tiempo transcurrido desde la admisión hasta el alta hospitalaria	Numérico	Días	Cuantitativa continua	Días
Pie afectado.	Extremidad inferior afectada por el pie diabético que presenta signos clínicos o complicaciones, identificada como derecha o izquierda.	Pie identificado en el expediente clínico o durante la evaluación médica como afectado por complicaciones de pie diabético.	Lateralidad del pie afectado.	Derecho, Izquierdo.	Cualitativa dicotómica.	0 = Derecho 1 = Izquierdo.

Localización de la úlcera.	Área anatómica del pie donde se encuentra la úlcera identificada, basada en las divisiones por angiosomas.	Localización de la úlcera registrada en el expediente clínico o identificada durante la evaluación clínica.	Clasificación anatómica de la úlcera.	LCA, MCA, LPA, MPA.	Cualitativa nominal.	1 = LCA. 2 = MCA. 3 = LPA. 4 = MPA.
Manejo quirúrgico.	Indicador binario que señala si el paciente recibió manejo quirúrgico durante su estancia hospitalaria.	Registro en el expediente clínico que documenta la realización de un procedimiento quirúrgico relacionado con el pie diabético.	Manejo quirúrgico realizado.	Sí, No.	Cualitativa dicotómica.	0 = No. 1 = Sí.
Tipo de manejo quirúrgico.	Tipo de intervención quirúrgica realizada como parte del manejo del pie diabético, clasificada como aseo quirúrgico o amputación (mayor o menor).	Procedimiento quirúrgico específico documentado en el expediente clínico o realizado durante la estancia hospitalaria.	Tipo de procedimiento quirúrgico.	Aseo quirúrgico, Amputación.	Cualitativa nominal.	1 = Aseo quirúrgico. 2 = Amputación.

Temperatura corporal	Medición de la temperatura interna del cuerpo	Temperatura medida en grados Celsius (°C)	Numérico	°C	Cuantitativa continua	°C
Angiosoma: arteria lateral calcánea	Medición de la temperatura en la región correspondiente a la arteria lateral calcánea	Temperatura medida en grados Celsius (°C) en el área de la arteria lateral calcánea	Numérico	°C	Cuantitativa continua	°C
Angiosoma: arteria lateral plantar	Medición de la temperatura en la región correspondiente a la arteria lateral plantar	Temperatura medida en grados Celsius (°C) en el área de la arteria lateral plantar	Numérico	°C	Cuantitativa continua	°C
Angiosoma: arteria calcánea medial	Medición de la temperatura en la región correspondiente a la arteria calcánea medial	Temperatura	Numérico	°C	Cuantitativa continua	°C
Angiosoma: arteria plantar medial	Medición de la temperatura en la región correspondiente a la arteria plantar medial	Temperatura	Numérico	°C	Cuantitativa continua	°C

Procedimientos para recolección de información

Para el presente estudio, se solicitó la aprobación del anteproyecto por el servicio de Cirugía, profesor titular de Cirugía General y jefatura de enseñanza del Hospital General de Zona No. 3 del Instituto Mexicano del Seguro Social en Aguascalientes; así mismo se realizó la solicitud de participación de investigador principal y asociados.

Posteriormente por medio de la plataforma institucional SIRELCIS, el protocolo se sometió a valoración por el Comité de Ética en Investigación y el Comité Local de Investigación en Salud y tras su aprobación se solicitó la autorización con Directivos del Hospital General de Zona No. 3 para la valoración de pacientes.

Se designó un horario establecido en turno matutino, otro en turno vespertino, así como durante jornada acumulada para la revisión del censo de pacientes en urgencias con diagnóstico de pie diabético, una vez detectado el potencial paciente a analizar se dio seguimiento a la valoración de Cirugía General, en dado caso de decidir manejo médico o quirúrgico se procedió a contactar de manera personal a dicho paciente.

El investigador principal junto con el investigador asociado (tesista) tomaron el tiempo necesario para explicar a detalle el protocolo de nuestro estudio al paciente y su familia, cubriendo aspectos fundamentales como los objetivos, justificación, riesgos y beneficios implicados. Seguidamente, se presentó el documento de consentimiento informado; tras resolver cualquier duda, se procedió a recabar las firmas autógrafas de las partes involucradas, lo que certifica su comprensión y acuerdo con la participación en el estudio.

Se debe reconocer que la temperatura corporal y la temperatura plantar son entidades distintas y pueden variar considerablemente entre sí. La temperatura corporal se mide en diferentes partes del cuerpo y está influenciada por varios factores, como el metabolismo, la actividad física y la respuesta del cuerpo a cambios ambientales. Por otro lado, la temperatura plantar se refiere específicamente a la temperatura en la planta del pie y puede verse afectada por la circulación sanguínea, la presión ejercida sobre el pie y la presencia de cualquier lesión o patología en el área. Es fundamental reconocer estas diferencias y tomar medidas específicas para garantizar una medición precisa de la temperatura plantar.

Primero se realizó una historia clínica dirigida en cuanto a los datos requeridos de las variables a considerar en el protocolo, ID, edad, sexo, estatura, peso, Tiempo de evolución, así como variables clínicas relacionadas con la patología de base y su control metabólico: hemoglobina glucosilada, glucemia central, niveles de colesterol, niveles de triglicéridos, macroalbuminuria, tensión arterial, uso de hipoglucemiantes orales, uso de insulina y tratamiento previo por otras complicaciones diabéticas.

Al ingreso del paciente, siguiendo un protocolo riguroso, se realizó la medición comparativa de 4 angiosomas en ambas extremidades mediante termografía infrarroja. Durante este procedimiento, el paciente se encontró en decúbito supino, sin calzado y habiendo permanecido en reposo absoluto durante 10 minutos previos. La temperatura se registró en la tabla de captura de datos del programa Excel, y fue vaciada en grados centígrados (Anexo A).

Para controlar el sesgo relacionado con la temperatura ambiental, se implementaron varias medidas durante la toma de las termografías plantares. En primer lugar, se realizaron las mediciones en una zona de exploración designada en el servicio de urgencias, la cual cuenta con una climatización ambiental controlable mediante aire acondicionado. Además, se utilizó un termómetro ambiental en el cuarto para garantizar la consistencia de las tomas y se mantuvo una temperatura ambiente estable durante todo el proceso. Es importante destacar que la temperatura ambiental se monitorea constantemente para evitar cualquier influencia en las mediciones termográficas. Además, la cámara termográfica Flir One Pro se utilizó a una distancia estándar de 15 cm del pie del paciente, bajo la iluminación propia del cuarto, para minimizar cualquier efecto de la temperatura ambiental en las mediciones (Más detalles en Anexo C: Manual operacional).

El seguimiento clínico de los pacientes se mantuvo a lo largo de la estancia intrahospitalaria, documentando el desenlace terapéutico definitivo, ya sea aseo quirúrgico, amputación o manejo médico conservador. Se llevó un registro detallado de la base de datos y posteriormente se procedió al análisis estadístico de las variables termográficas obtenidas durante su evaluación para obtener los resultados que se proponen en el objetivo general y en los específicos y posteriormente plasmarlo en el desarrollo final de la tesis.

Instrumentos para utilizar

En nuestro estudio se empleó la cámara termográfica Flir One Pro, disponible en el servicio de cirugía general, como el principal instrumento para la captura de imágenes termográficas de las extremidades de los pacientes. Este dispositivo avanzado permitió registrar de manera precisa las variaciones de temperatura en los cuatro angiosomas específicos: arteria lateral calcánea, arteria lateral plantar, arteria calcánea media y arteria plantar medial. Las temperaturas capturadas por la cámara se registraron en grados centígrados.

Para el manejo y registro de los datos termográficos obtenidos, se utilizó una hoja de cálculo diseñada específicamente para este propósito. En esta base de datos, se incluyeron las temperaturas iniciales de ambas extremidades en los angiosomas mencionados anteriormente. La estructura de la base de datos permitió un registro organizado y sistemático de la información termográfica, esencial para el análisis estadístico posterior.

El análisis de los datos se centró en explorar la relación entre los cambios de temperatura plantar registrados y los desenlaces terapéuticos de los pacientes, con el objetivo de identificar patrones o correlaciones significativas. Esta metodología comparativa buscó establecer si existe una relación entre las variaciones termográficas y el pronóstico clínico, contribuyendo así a la comprensión del impacto de estos cambios en el manejo y la evolución del pie diabético.

Al analizar y documentar las correlaciones entre la temperatura plantar y los desenlaces terapéuticos, se buscó ofrecer una contribución significativa al cuerpo de conocimiento existente, abriendo nuevas vías para investigaciones posteriores que puedan derivar en mejoras en la prevención, diagnóstico y tratamiento del pie diabético.

Métodos para el control y calidad de los datos.

Para asegurar la integridad y exactitud de los datos obtenidos en nuestro estudio, se implementaron diversas medidas de control de calidad. Inicialmente, el investigador asociado fue responsable de recolectar la información precisa mediante el uso de la cámara termográfica Flir One Pro y de registrar meticulosamente las mediciones de temperatura en

los angiosomas especificados dentro de una hoja de cálculo Excel diseñada para este propósito.

Con el fin de garantizar mediciones precisas y mitigar posibles sesgos, se llevó a cabo la medición termográfica mientras el paciente se encontraba en decúbito supino y en reposo absoluto durante un período previamente establecido de 10 minutos. Este tiempo permite que el cuerpo alcance una temperatura basal estable y se regule térmicamente, reduciendo así la influencia de factores externos. Dado que no fue posible controlar el tipo de calzado que llevaron los pacientes, las mediciones se realizaron sin calzado para mantener la uniformidad en las condiciones de toma de temperatura. El calzado se retiró antes de que el paciente se posicionara para la medición.

Como medida adicional de control de calidad y para garantizar la precisión de los datos recabados, el investigador principal realizó una revisión exhaustiva de la información recolectada. Este proceso incluyó la verificación de la exactitud de las mediciones de temperatura y la correcta asignación de estas a los angiosomas correspondientes. Además, el investigador principal confirmó que la información fue capturada fielmente en la hoja de Excel apoyado por el investigador asociado. Esta doble comprobación asegura una validación cruzada de los datos, minimizando el riesgo de errores en la captura y en la interpretación de los resultados (ver Anexo C correspondiente al Manual Operacional para la Recolección de Datos).

Detalles Técnicos de la Cámara:

La cámara termográfica Flir One Pro, seleccionada para la adquisición de imágenes en este estudio, utiliza un enfoque basado en lectura automática y análisis de los datos térmicos capturados por el sensor infrarrojo. El software especializado incorporado en la cámara permite la detección y medición precisa de las temperaturas de la superficie de los pies de los pacientes. Cabe destacar la disponibilidad previa de esta cámara en el servicio de cirugía del Hospital General de Zona #3, con un costo aproximado de \$7500 en 2024.

Cuenta con las siguientes características técnicas:

- Resolución térmica: 160x120 píxeles.
- Resolución visual: 1440*1080 pixeles.
- Rango espectral: 8 a 14 micras.
- Sensibilidad térmica: 0.15°C.
- Precisión diferencial: $\pm 2^\circ\text{C}$ o $\pm 2\%$.
- Frecuencia de actualización: 8.7 Hz.
- Enfoque: fijo de 15 cm al infinito.
- Obturador: automático/manual.
- Modos de imagen: MSX (Multi-Spectral Dynamic Imaging): fusiona imágenes térmicas con detalles visuales para una interpretación más clara de la escena y una mayor comprensión de las anomalías térmicas detectadas.
- Conexión y compatibilidad: conector USB-C. Es compatible con dispositivos Android y iOS.
- Funciones adicionales: medición de temperatura en puntos específicos, medición de áreas, cambio de paletas de colores, capacidad de grabar y compartir imágenes térmicas y videos.

Tipo de Mapa Utilizado:

El software de la cámara emplea un mapa térmico de colores para visualizar las variaciones de temperatura en las imágenes capturadas. Este mapa térmico utiliza una escala de colores específica para representar las temperaturas, donde los colores más cálidos, como el rojo y el amarillo, indican temperaturas más altas, mientras que los colores más fríos, como el azul y el violeta, representan temperaturas más bajas.

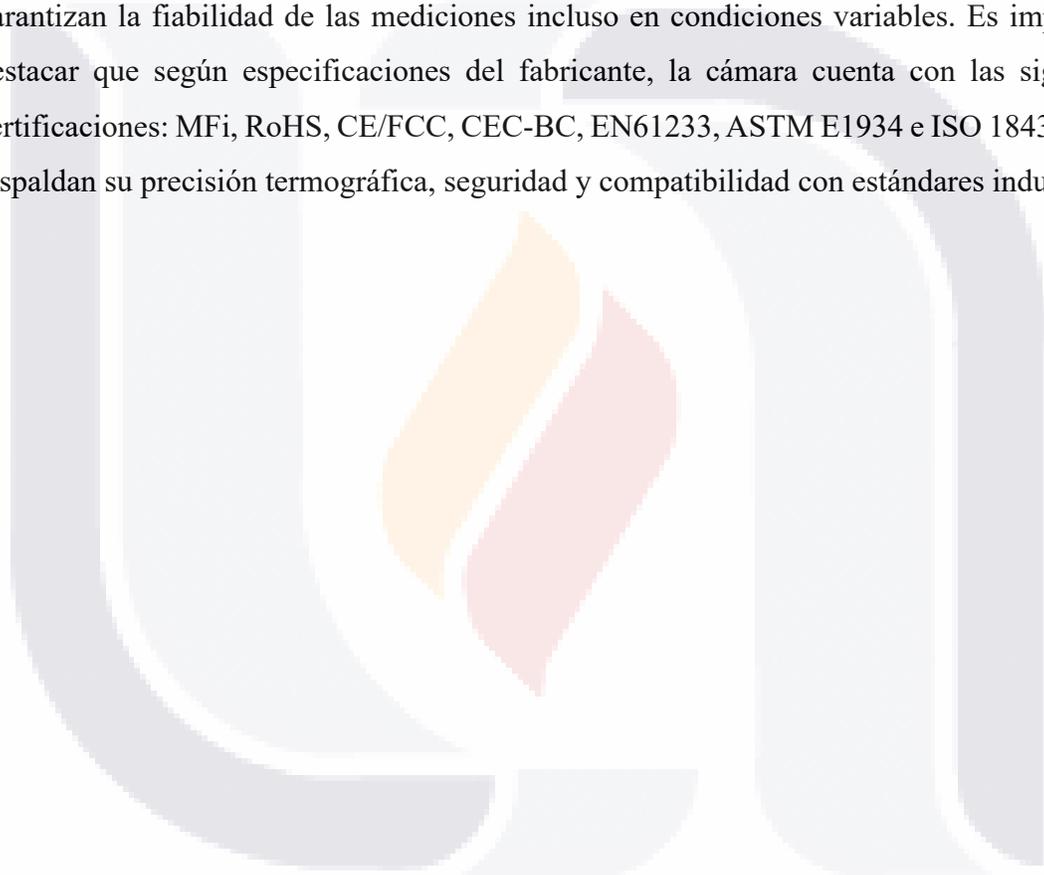
Proceso de Obtención de la Temperatura de la Imagen:

El software de la cámara, el cual se ofrece a través una aplicación móvil de libre acceso llamada FLIR ONE, realiza un análisis pixel por pixel de la imagen térmica capturada, asignando a cada pixel un valor numérico correspondiente a la temperatura en grados centígrados detectada en esa área específica del pie del paciente. Este proceso se realiza de

manera automática y en tiempo real, utilizando algoritmos avanzados de procesamiento de imágenes.

Garantía de Precisión y Fiabilidad:

La cámara Flir One Pro es calibrada de fábrica para asegurar mediciones térmicas precisas y consistentes. Cumple con estándares de calidad reconocidos internacionalmente. Además, su sensibilidad térmica de 0.15°C y su precisión diferencial de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ o $\pm 2\%$ del valor de lectura garantizan la fiabilidad de las mediciones incluso en condiciones variables. Es importante destacar que según especificaciones del fabricante, la cámara cuenta con las siguientes certificaciones: MFi, RoHS, CE/FCC, CEC-BC, EN61233, ASTM E1934 e ISO 18434-1 que respaldan su precisión termográfica, seguridad y compatibilidad con estándares industriales.



11.-Análisis de datos:

El estudio estadístico se realizó en una muestra $n = 56$ de pacientes con diabetes mellitus y complicaciones de extremidades inferiores entre el 3 de mayo y el 15 de noviembre de 2024 en el Hospital General de Zona No. 3 Jesús María, Aguascalientes. Las variables evaluadas fueron clínicas y demográficas y temperaturas obtenidas por termografía plantar. El análisis comparativo entre grupos se realizó utilizando el software SPSS, R y RStudio y se utilizó la prueba de ANOVA de una sola vía. En caso de diferencias significativas, se utilizó la prueba post-hoc de Tukey honestamente significativa. El resto de los análisis fueron gestionados con Python, incluyendo pruebas de Mann-Whitney U, PCA, modelos de Random Forest y árboles de decisión, Pruebas diagnósticas para evaluar la factibilidad de la termografía empleada significativo $p < 0.05$; este trabajo evaluó la termografía plantar, sus propiedades térmicas, y pruebas de predicción para definir qué variables termográficas permitirían identificar los distintos manejos: sin manejo quirúrgico (SG), con aseo quirúrgico (SQ), o con amputación.

12.-Aspectos éticos:

El presente estudio de se llevará a cabo con un estricto cumplimiento de principios éticos fundamentales, priorizando el respeto, la privacidad y la seguridad de los participantes. A continuación, se detallan los aspectos éticos que guiarán la realización de la investigación:

1. Aprobación del Comité de Ética: Antes de iniciar cualquier actividad de recolección de datos o intervención con los pacientes, el protocolo del estudio será sometido a la revisión y aprobación del Comité de Ética del Hospital General de Zona #3 (HGZ #3) u otra institución pertinente. La aprobación del comité asegurará que el estudio cumpla con las normas éticas y legales aplicables y proteja los derechos y el bienestar de los participantes.
Acorde a lo referido en el Procedimiento para la Evaluación, registro, seguimiento, enmienda y cancelación de protocolos de investigación en salud presentados ante los Comités Locales de investigación en Salud y los comités de ética en Investigación 2810-003-002 dentro del Instituto Mexicano del Seguro Social se considera una investigación con riesgo mínimo, ya que se trata de un estudio prospectivo que emplea el riesgo de datos a través de procedimientos comunes en exámenes físicos o psicológicos de diagnósticos o tratamiento rutinarios,
2. Consentimiento Informado: Se elaborará un consentimiento informado claro y conciso para los participantes, que explique de manera comprensible los objetivos del estudio, los procedimientos involucrados, los posibles riesgos y beneficios, así como los derechos de los participantes. Se garantizará que los pacientes firmen el consentimiento de manera voluntaria y que tengan la oportunidad de hacer preguntas y aclarar dudas antes de participar en el estudio (Anexo B).
3. Retiro de Consentimiento: Se respetará plenamente el derecho de los pacientes a retirar su consentimiento para participar en el estudio en cualquier momento y sin ninguna repercusión en su atención médica habitual. Se asegurará que el proceso para retirar el consentimiento sea claro y accesible para los participantes.

4. Confidencialidad y Privacidad: Se garantizará la confidencialidad y privacidad de los datos recopilados de los participantes. La información personal y médica se mantendrá en estricta confidencialidad y solo se utilizará con fines investigativos. Los datos se almacenarán de forma segura y solo se compartirán con el equipo de investigación autorizado.
5. Beneficio para los Participantes: Este estudio propone una estrategia avanzada para prevenir la amputación en pacientes con pie diabético, mediante el análisis detallado de termografías plantares. Al identificar patrones termográficos específicos asociados con el riesgo de amputación, buscamos ofrecer una evaluación más precisa y temprana que mejore directamente el cuidado de los participantes. Este enfoque no solo tiene el potencial de elevar la calidad de vida de los pacientes actuales, sino también de modelar futuras prácticas médicas hacia un manejo preventivo y eficaz del pie diabético.
6. Cumplimiento con la Declaración de Helsinki: El estudio cumplirá con todas las disposiciones éticas establecidas en la Declaración de Helsinki, que proporciona principios éticos para la investigación médica con seres humanos.
7. En caso de que se obtengan resultados inesperados durante el transcurso del estudio, se notificará de inmediato al Comité de Ética e Investigación para su evaluación y consideraciones.
8. El equipo de investigación se compromete a llevar a cabo este estudio con la máxima integridad ética y a promover el respeto y el cuidado de los participantes involucrados. Cualquier cambio en el protocolo del estudio que afecte los aspectos éticos será presentado nuevamente al Comité de Ética para su revisión y aprobación. La transparencia y la responsabilidad serán fundamentales en todas las etapas de la investigación.

El presente estudio cumple con los requisitos mencionados en los artículos del título quinto de la Ley Federal de Salud dedicados a la investigación en Salud citando a los artículos 96, 97, 98, 99, 100, 101 y 102.

9. Los datos e imágenes recolectados se guardarán de forma segura según lo dictaminado por el Comité de Ética e Investigación durante 10 años en un servidor local y en servicios de almacenamiento en la nube. Se seguirán las reglas de

privacidad y seguridad establecidas. Sólo el equipo de investigación autorizado tendrá acceso.



13.-Recursos, financiamiento y factibilidad:

Recursos Materiales:

Los materiales básicos como impresora, hojas, copias, lápices, borradores y carpetas serán proporcionados por los investigadores y el alumno tesista. No se anticipa la necesidad de adquisiciones adicionales significativas para la ejecución de la tesis.

Equipamiento Específico:

El análisis termográfico se llevará a cabo utilizando una cámara Flir One Pro, la cual ya forma parte del equipamiento disponible en el servicio de cirugía. Esto asegura que no se requerirán gastos adicionales para la adquisición de equipamiento especializado.

Recursos de Cómputo y Software:

El equipo de cómputo necesario para el análisis de datos, así como el software específico para el tratamiento y análisis estadístico de las imágenes termográficas, será proporcionado por el investigador principal. Este enfoque garantiza la factibilidad técnica del estudio sin incurrir en costos adicionales.

Recursos Humanos:

Investigador Principal: Dr. José Luis Bizuelo Monroy

Investigador Asociado: Dr. Miguel Angel Mojarro Cisneros.

Financiamiento:

Dado que los materiales básicos serán cubiertos por los investigadores y el equipamiento específico ya está disponible en el servicio de cirugía, no se requiere inversión financiera adicional por parte de la institución. Este enfoque maximiza la utilización de los recursos existentes, demostrando la viabilidad económica del proyecto.

14.-Cronograma de actividades:

ACTIVIDADES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
FASE I											
Revisión bibliográfica	F	F									
Desarrollo del protocolo de investigación		E	E								
FASE II											
Envío de protocolo a revisión por CLIES 101			P	P							
Recolección de datos					P	P	P	P	P	P	
Análisis de datos								F	F		
FASE III											
Elaboración de escrito y presentación de tesis											P

Actividad finalizada	F
Actividad ejecutándose	E
Actividad programada	P

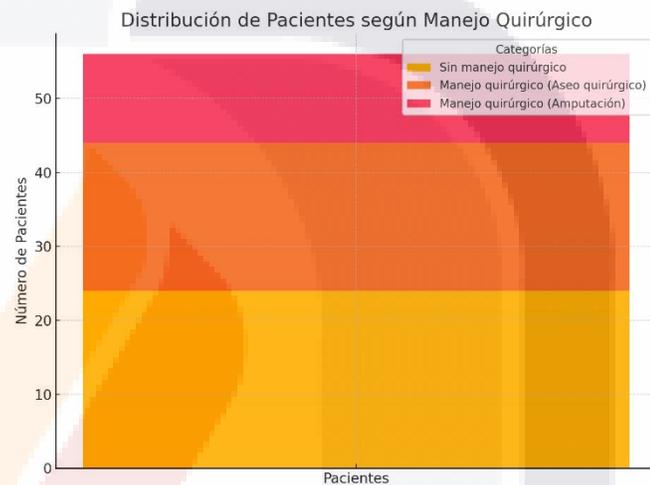
15.-Resultados:

16.1. Características de la muestra

La base de datos analizada incluyó 56 pacientes con las siguientes distribuciones:

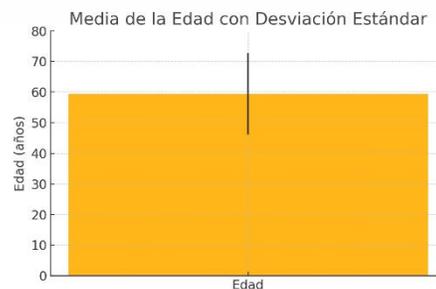
- **Pacientes sin manejo quirúrgico:** 24 (42.85%).
- **Pacientes con manejo quirúrgico:** 32 (57.14%), distribuidos en:
 - **Aseo quirúrgico:** 20 (35.71% del total).
 - **Amputación:** 12 (21.42% del total).

Gráfico 1. distribución de pacientes según el tipo de manejo quirúrgico recibido.



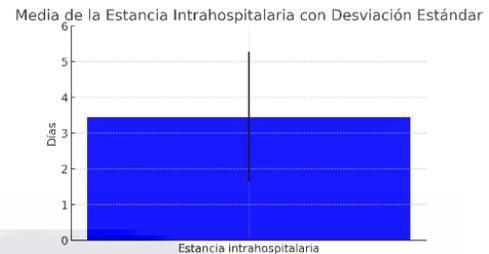
- **Edad:**
 - Media: **59.46 años.**
 - Desviación estándar: ± 13.31 años.

Gráfico 2. La media de edad es de 59.46 años, con una desviación estándar de ± 13.31 años



- **Estancia intrahospitalaria:**
 - Media: **3.46 días.**
 - Desviación estándar: ± 1.82 días.

Gráfico 3. Representación de la media de la estancia intrahospitalaria. La media fue de 3.46 días, con una desviación estándar de ± 1.82 días.



Estos datos resaltan que la mayoría de los pacientes requirieron manejo quirúrgico, siendo el aseo quirúrgico el procedimiento más frecuente.

16.2. Análisis de las variables termográficas

VARIABLES INCLUIDAS:

Se analizaron las temperaturas promedio de los siguientes angiosomas, tanto del pie derecho como del izquierdo:

- **LCA_PD, LCA_PI** (lateral calcáneo).
- **MCA_PD, MCA_PI** (medial calcáneo).
- **LPA_PD, LPA_PI** (lateral plantar).
- **MPA_PD, MPA_PI** (medial plantar).

Las temperaturas promedio de los angiosomas del pie derecho e izquierdo fueron evaluadas. Los valores variaron entre 31.11°C y 32.27°C , con desviaciones estándar que oscilan entre 1.85°C y 2.62°C . Estos valores son coherentes con los obtenidos de la literatura en pacientes con neuropatía diabética, los cuales tienden a mostrar aumentos de la temperatura basal debido a cambios en la microcirculación.

Gráfico 4. Temperaturas promedio de los angiosomas del pie derecho e izquierdo, con desviaciones estándar indicadas.



Angiosom	Promedio (°C)	Desviación estándar
LCA PD	31.47	2.05
LCA PI	31.11	2.46
MCA PD	31.4	2.01
MCA PI	31.18	2.46
IPA PD	31.97	2.04
IPA PI	31.98	2.62
MPA PD	32.27	1.85
MPA PI	32.01	2.4

Tabla 1: Temperaturas promedio de los angiosomas del pie derecho e izquierdo con sus respectivas desviaciones estándar.

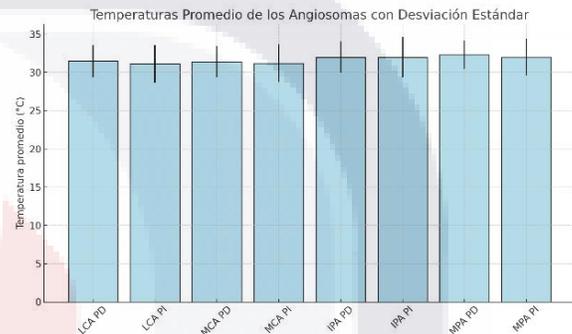


Gráfico 5. Comparación de las temperaturas promedio de los angiosomas del pie derecho e izquierdo con barras de error representando las desviaciones estándar.

Multicolinealidad

Al examinar las correlaciones entre las temperaturas, encontramos una multicolinealidad severa, lo que significa que las temperaturas de diferentes angiosomas estaban altamente correlacionadas. Una posible explicación para esto es las características fisiológicas comunes. Se hizo lo siguiente para abordar esta redundancia: 1. Transformar las 8 variables de temperatura en componentes principales independientes. 2. Los dos primeros componentes explicaron el 81.53% de la varianza total, lo que permitió capturar la mayoría de la información relevante.

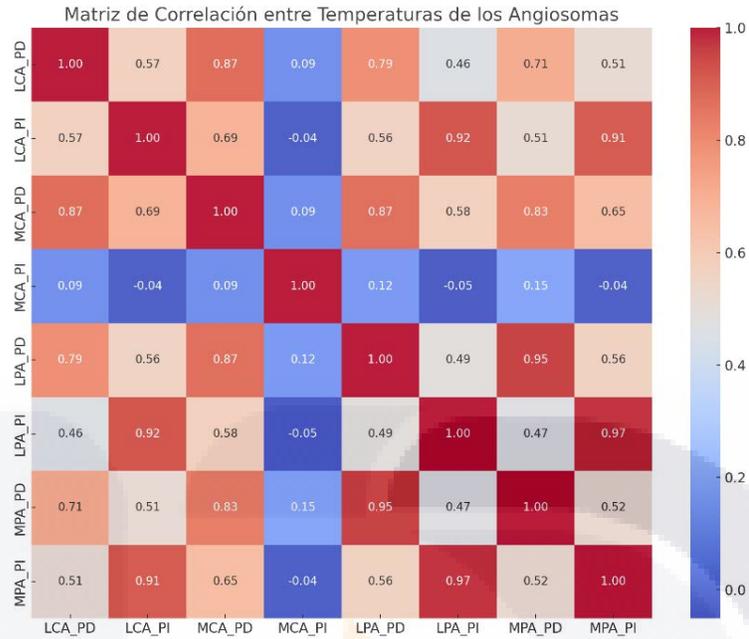


Gráfico 6. Matriz de correlación de Pearson entre las temperaturas de los angiosomas del pie. Cada celda muestra el coeficiente de correlación, que varía entre -1 y 1. Valores cercanos a 1 indican una relación positiva fuerte (temperaturas que cambian en la misma dirección), mientras que valores cercanos a 0 reflejan una relación débil o nula. Las correlaciones altas observadas entre varios angiosomas confirman la presencia de multicolinealidad severa, lo que sugiere que las temperaturas están altamente relacionadas debido a características fisiológicas comunes.

16.3. Comparaciones entre los grupos

Se realizaron comparaciones estadísticas entre los tres grupos de pacientes (sin manejo quirúrgico, aseo quirúrgico y amputación) mediante la prueba de ANOVA de una sola vía seguida de la prueba post-hoc de diferencia honestamente significativa de Tukey en caso de encontrarse un resultado significativo

- **Pruebas estadísticas utilizadas:**

- **Prueba ANOVA de una sola vía** Evaluó diferencias en la media de las variables clínicas y termográficas entre los tres grupos. Fórmula utilizada: Fórmula utilizada:

$$F = \frac{\text{Varianza entre grupos}}{\text{Varianza dentro de los grupos}}$$

- **Edad:**

- ANOVA: $F=1.126$, $p=0.037$ (significativo).
- Prueba de diferencias honestamente significativas:

Grupos	Valor p ajustado
Manejo no quirúrgico	0.61
Aseo quirúrgico.	0.02
Amputación.	0.17

Tabla 2. Valores p ajustados para los diferentes grupos según el tipo de manejo.

- Promedios de edades para cada grupo:
 - No manejo quirúrgico: 63.39.
 - Aseo quirúrgico: 59.76.
 - Amputación: 51.41
- **IMC:**
 - No se detectó diferencias significativas con ANOVA ($p>0.05$).
- **Temperaturas termográficas:**
 - ANOVA: No se encontraron diferencias significativas en ninguna temperatura ni en los componentes principales derivados del PCA.
- No se encontraron diferencias significativas para los valores de glucemias.

16.4. Modelos predictivos

Se evaluaron modelos de machine learning para predecir el manejo quirúrgico (ninguno, aseo quirúrgico, amputación) y determinar la relevancia de las temperaturas termográficas como variables predictoras.

- **Árbol de decisión:**

- Un árbol de decisión se entrenó incluyendo variables de temperaturas termográficas y características clínicas. El modelo alcanzó una precisión general del 59%, mostrando mejor desempeño al identificar correctamente a pacientes sin manejo quirúrgico o con aseo quirúrgico. Sin embargo, mostró limitaciones para clasificar casos de amputación.

• **Random Forest optimizado:**

- Se evaluó un modelo de Random Forest, ajustando hiperparámetros como la cantidad de árboles y la profundidad máxima. Los resultados indicaron que:
 - El modelo no mejoró significativamente, con un área bajo la curva ROC (AUC) de **0.53**, lo que sugiere un desempeño apenas mejor que el azar.
 - Un análisis de importancia de características reveló que las temperaturas termográficas no aportaron información relevante adicional al modelo.



16.-Discusión:

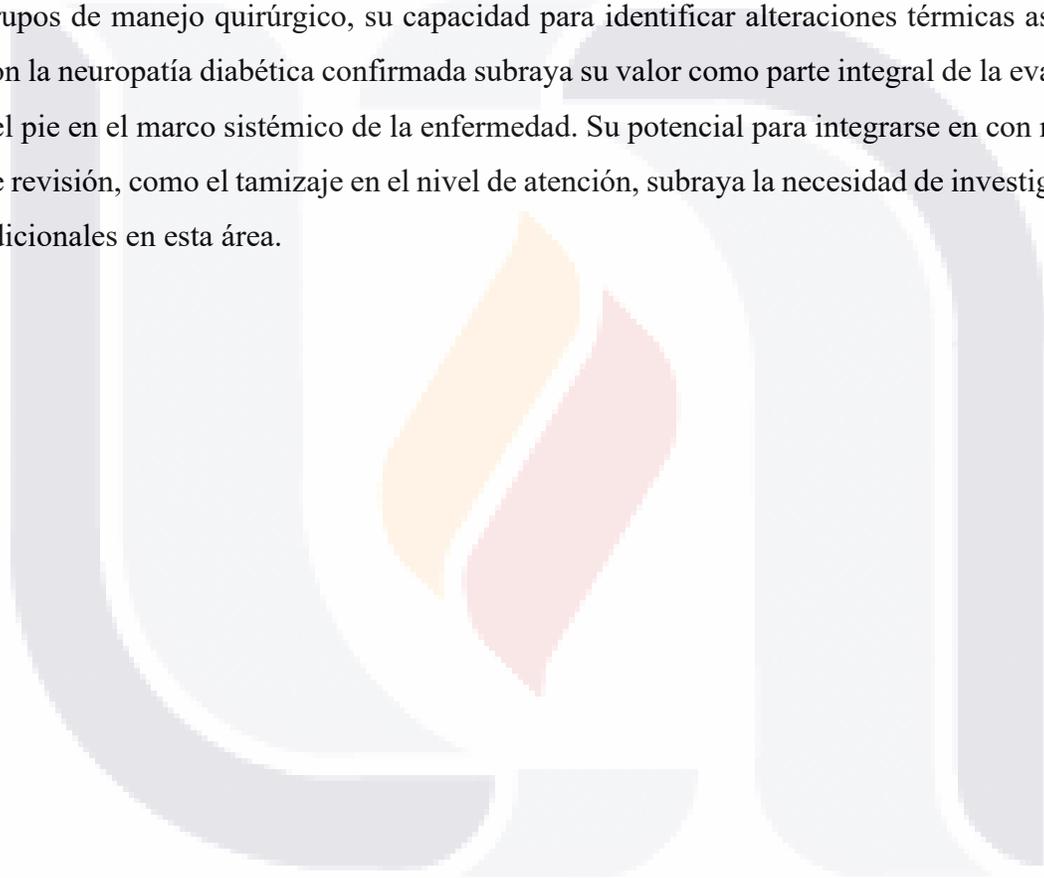
La termografía plantar es una técnica no invasiva, de bajo costo y prometedora en el análisis del pie diabético, una condición caracterizada por un riesgo incrementado de complicaciones vasculares y neuropáticas. En este estudio prospectivo, se intentó determinar si las temperaturas registradas en los angiosomas plantares identificaban al paciente sin manejo quirúrgico, con aseo quirúrgico o con amputación. Si bien las comparaciones entre las temperaturas térmicas en los distintos grupos no mostraron diferencias significativas, los resultados subrayan la habilidad de la termografía plantar de describir alteraciones térmicas patognomónicas asociadas a la neuropatía diabética, con información útil para la toma de decisiones clínicas. Los resultados del presente trabajo confirmaron el aumento de la temperatura basal de los angiosomas plantares, con medias entre 31.11° y 32.27°C . Este hallazgo concuerda con lo reportado por Van Netten (4) al subrayar que el paciente con neuropatía diabética incrementa la temperatura plantar basal como consecuencia de las alteraciones microcirculatorias y la pérdida de la regulación vasomotora. Asimismo, Niemann (2) encontró que los pacientes con pie diabético presentaban temperaturas significativamente más altas que los controles, lo que refleja el compromiso vascular presente en la enfermedad. La identificación de alteraciones térmicas a través de la técnica termográfica utilizada en este estudio permite reafirmar la posibilidad útil de la termografía plantar en el pacientes con neuropatía y vasculopatía diabética.

Respecto a las temperaturas en los angiosomas, no se encontraron diferencias significativas que permitieran diferenciar entre grupos de manejo quirúrgico. Este resultado difiere de estudios previos, en particular el de Gatt et al (7), quienes sugirieron que la termografía plantar podía detectar anomalías térmicas asociadas a isquemia en pacientes diabéticos. La divergencia podría deberse a la diferencia en la población estudiada, las condiciones en las que se tomaron las mediciones o el tamaño de la muestra. Además, la obra de Roback et al (8) alternativamente, ha sugerido que la termografía pierde su sensibilidad en etapas avanzadas de la vasculopatía periférica, una condición frecuente en los pacientes de este estudio. La homogeneidad en la termografía podría explicar la ausencia de las diferencias

estadísticamente significativas. Por otro lado, los resultados de este estudio ponen de relieve la influencia de la edad en la probabilidad de una amputación. Los pacientes sometidos a este procedimiento presentaban una edad significativamente mayor que sus contrapartes. Esto es consistente con Arias Rodríguez et al (10), quienes asocian la edad alta con una mayor probabilidad de isquemia gracias a la regeneración reducida de vasos sanguíneos. Del mismo modo, los tiempos de estadía hospitalaria para los casos de amputación fueron sustancialmente más largos. Arias Rodríguez et al (10) señala las complicaciones postoperatorias como infecciones o mala cicatrización como potencial motivo de los largos periodos en el hospital.

Sin embargo, más allá de las aplicaciones actuales, la termografía plantar puede revolucionar la atención del pie diabético a través de su combinatoria con modelos predictivos basados en inteligencia artificial. De hecho, estudios como el propuesto por Khandakar et al (14). han demostrado que la técnica de aprendizaje automático es efectiva para analizar los patrones térmicos y clasificar a los pacientes de acuerdo con su riesgo de desarrollar úlceras. Como tal, es posible que la termografía pueda combinarse con los factores clínicos actuales y los biomarcadores del pie diabético para proporcionar un diagnóstico y una prevención más precisos de la afección. Además, en situaciones en las que el diagnóstico temprano de la diabetes mellitus es insuficiente, como en México, la termografía en los consultorios de atención primaria puede ser una buena oportunidad para funcionar como un método de tamizaje. En el trabajo de Astasio-Picado et al. (15) se comenta que esta técnica pudo detectar los cambios microcirculatorios antes de la aparición de los síntomas clínicos, lo que la hace una técnica prometedora para la detección de cambios. A su vez, los resultados observados se encuentran casi en línea con los distintos estudios revisados para el diagnóstico del pie diabético mediante la termografía. En primer lugar, varios investigadores han encontrado evidencia en la literatura que puede detectar cambios térmicos que sugieren isquemia. Si bien la mayoría de estos estudios han sugerido que la termografía plantar puede ser más útil cuando se combina con marcadores clínicos conocidos. Finalmente, este estudio también indica que, aunque no es predictiva por derecho, la termografía plantar podría ser otra herramienta útil en el diagnóstico de pie diabético cuando se combina con la edad del paciente, la duración de la diabetes y otros indicadores físicos.

Además de estas precauciones, aunque este estudio presenta limitaciones, como el tamaño muestral, su diseño prospectivo y la aplicación de técnicas avanzadas como PCA fortalecen la validez externa de los resultados. Sin embargo, es necesario investigar para maximizar el potencial de esta técnica, más grandes muestras deberían recolectarse, los algoritmos avanzados para el patrón térmico deben explorarse y los hallazgos deben estandarizarse para garantizar la reproducibilidad. Aunque la termografía plantar no pudo diferenciar entre los grupos de manejo quirúrgico, su capacidad para identificar alteraciones térmicas asociadas con la neuropatía diabética confirmada subraya su valor como parte integral de la evaluación del pie en el marco sistémico de la enfermedad. Su potencial para integrarse con métodos de revisión, como el tamizaje en el nivel de atención, subraya la necesidad de investigaciones adicionales en esta área.



17.-Conclusión:

Para concluir, el presente estudio se centró en la evaluación de la utilidad de la termografía plantar como herramienta diagnóstica en pacientes con diabetes y complicaciones de las extremidades inferiores, en particular en la predicción de la probabilidad de necesitar manejo quirúrgico. A pesar de ciertas limitaciones, la evidencia obtenida es extremadamente valiosa y crea una base sólida para futuras oportunidades para el desarrollo de estrategias de diagnóstico no invasivas específicamente para esta condición clínica. En primer lugar, este trabajo ha ampliado los conocimientos sobre la termografía plantar, lo que subraya tanto su potencial como sus limitaciones en términos de potencial predictivo. Independientemente de la similaridad de las temperaturas termográficas entre los grupos de manejo quirúrgico, la técnica es relevante desde la perspectiva del monitoreo no invasivo de los cambios térmicos a lo largo del tiempo. Sin embargo, este enfoque sugiere que la termografía no es suficiente por sí sola como herramienta predictiva independiente durante la evaluación del pie diabético. Entre los resultados más significativos, pertenece el hecho de que la edad avanzada es un factor clínico significativo asociado con la necesidad de realizar amputaciones quirúrgicas. Este resultado corresponde a las observaciones anteriores realizadas por los especialistas y apunta a los factores demográficos como críticos para la planificación de intervenciones clínicas. Otro punto clave es que los pacientes que se someten a amputaciones presentan estadías más largas en hospitales, lo que refleja la gravedad de su condición, así como las consecuencias negativas de ciertos procedimientos invasivos.

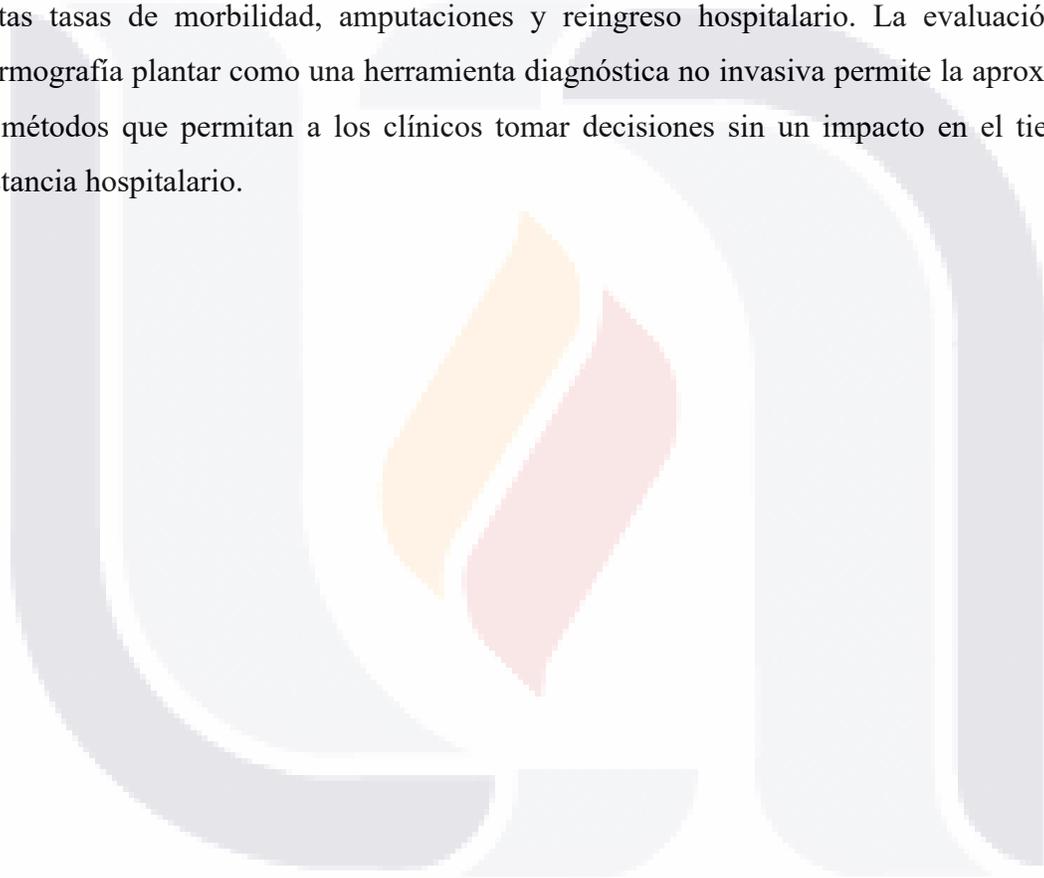
En base a una perspectiva clínica, nuestros resultados soportan la importancia de una estrategia multidisciplinar en el manejo del pie diabético. Combinar resultados de la termografía con otras técnicas diagnósticas, como estudios de perfusión vascular o biomarcadores clínicos, podría incrementar la precisión para predecir aquellos pacientes con alto riesgo de presentar complicaciones severas. Este acercamiento podría contribuir a una toma de decisiones más informada, reduciendo potencialmente las tasas de amputación y los costos asociados a hospitalizaciones prolongadas. En este estudio, confirmamos que los pacientes con neuropatía diabética presentan un incremento en la temperatura basal de los angiosomas del pie, compatibles con la literatura revisada. Esto no solo confirma que la

termografía es una técnica útil para predecir alteraciones térmicas en condiciones como la neuropatía o la vasculopatía, sino que nos proporciona una nueva perspectiva para integrar esta técnica en una estrategia diagnóstica más completa.

El potencial de la termografía plantar no se limita a su aplicación actual. La tecnología, integrada con sistemas avanzados, como sistemas de aprendizaje automático, abren oportunidades para la creación de sistemas predictivos para identificar personas en riesgo de aparición de úlceras en el pie diabético o complicaciones, situación que podrá cambiar el enfoque diagnóstico y permitir intervenciones oportunas para prevenir amputaciones en el futuro. El uso de esta tecnología en la atención primaria puede servir como una herramienta de tamizaje para la detección de procesos de deterioro de la microcirculación en pacientes con o sin antecedentes de diabetes mellitus. Esto es especialmente importante en la mayoría de los países donde el diagnóstico oportuno de la diabetes sigue siendo un problema importante. Dado que la termografía plantar no cumplió con los criterios del predictor independiente en este estudio, la condición fisiológica del pie diabético justifica su inclusión como herramienta adicional en la evaluación por parte de especialistas en una variedad de campos. La combinación de esta técnica con la medición de biomarcadores clínicos, pruebas de perfusión vascular y algoritmos de Inteligencia Artificial, tiene el potencial de cambiar el enfoque del diagnóstico y manejo del pie diabético y, por lo tanto, contribuir a una mejor calidad de vida y resultados clínicos para los pacientes. A pesar de las limitaciones, este estudio es significativo por su diseño prospectivo, que permitió recolectar datos en un contexto de atención médica locales. Aunque el tamaño de la muestra indica que los resultados no se pueden generalizar, la metodología utilizada es un buen punto de partida para futuras investigaciones en esta área.

En el futuro, se recomienda la expansión del tamaño muestra y la exploración de algoritmos más avanzados, como la inteligencia artificial, para identificar patrones térmicos más complejos que puedan aumentar la capacidad predictiva de la termografía plantar. Así mismo, la estandarización de las medidas, que incluyan incluso factores como la temperatura ambiental y el estado físico del paciente, será esencial para maximizar la precisión y reproducibilidad de esta técnica. En conclusión, este estudio destaca la necesidad de continuar explorando herramientas diagnósticas no invasivas para el manejo del pie

diabético. Se debe mencionar que, aunque la termografía plantar no cumplió con los criterios para ser un predictor independiente, la implementación de otros criterios diagnósticos tiene el potencial de rehacer la evaluación y manejo del pie diabético en entornos clínicos locales y más amplios. Por tal motivo, los resultados presentados aquí posiblemente enfatizen un enfoque multidisciplinario integral y, por lo tanto, contribuyan al entendimiento y manejo clínico del pie diabético en un contexto local. Este estudio es relevante porque aborda un problema de salud importante: cómo manejar a los pacientes con pie diabético que conlleva altas tasas de morbilidad, amputaciones y reingreso hospitalario. La evaluación de la termografía plantar como una herramienta diagnóstica no invasiva permite la aproximación a métodos que permitan a los clínicos tomar decisiones sin un impacto en el tiempo de estancia hospitalario.



18.-Glosario:

Angiosoma: Segmento anatómico de piel y tejidos subyacentes irrigados por una arteria específica. En termografía plantar, los angiosomas se analizan para identificar patrones térmicos asociados con cambios microcirculatorios.

ANOVA (Análisis de Varianza): Técnica estadística utilizada para comparar las medias de tres o más grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellos.

Área Bajo la Curva (AUC): Métrica para evaluar el desempeño de modelos de clasificación en problemas de predicción. Representa el área bajo la curva ROC (Receiver Operating Characteristic), que mide la relación entre sensibilidad y especificidad.

Biomarcador: Indicador medible de procesos biológicos, condiciones patológicas o respuestas a tratamientos. En el pie diabético, biomarcadores como niveles de glucosa o presión arterial pueden ser relevantes.

Componentes Principales (PCA): Técnica estadística que reduce la dimensionalidad de los datos al identificar combinaciones lineales de variables que explican la mayor variabilidad posible.

Diabetes Mellitus (DM): Trastorno metabólico crónico caracterizado por hiperglucemia persistente debido a defectos en la secreción de insulina, acción de la insulina o ambas.

Glucosa en Ayuno: Concentración de glucosa en la sangre tras un periodo de al menos 8 horas sin ingesta calórica. Indicador clave en el diagnóstico y manejo de la diabetes.

Índice de Masa Corporal (IMC): Relación entre el peso y la estatura de una persona, utilizada como indicador de adiposidad. Se calcula como el peso (kg) dividido entre la estatura (m) al cuadrado.

Neuropatía Diabética: Complicación crónica de la diabetes que afecta los nervios periféricos, causando pérdida de sensibilidad, dolor o disfunción motora, especialmente en las extremidades inferiores.

Pie Diabético: Complicación de la diabetes caracterizada por lesiones en los pies, como úlceras, infecciones o gangrena, resultantes de neuropatía y/o vasculopatía diabética.

Prueba post-hoc de Tukey: Método estadístico que se utiliza tras un ANOVA para identificar qué grupos específicos difieren entre sí de manera significativa.

Termografía Plantar: Técnica no invasiva que mide la radiación infrarroja emitida por la piel para identificar variaciones térmicas asociadas con inflamación, neuropatía o isquemia.

Vasculopatía Diabética: Complicación de la diabetes que afecta los vasos sanguíneos, reduciendo el flujo sanguíneo y aumentando el riesgo de ulceraciones y amputaciones.

Random Forest: Algoritmo de aprendizaje automático basado en múltiples árboles de decisión. Se utiliza para clasificación y predicción, combinando resultados individuales de los árboles para mejorar la precisión.

ROC (Receiver Operating Characteristic): Curva que evalúa el desempeño de un modelo de clasificación, graficando la relación entre sensibilidad y especificidad a diferentes umbrales de decisión.

19.-Bibliografía:

1. Enciso Rojas AD. Factores de riesgo asociados al pie diabético¹[1]. Rev. virtual Soc. Parag. Med. Int [Internet]. 2016 Sep [citado 2024 Feb 3];3(2)²[2]. Disponible en: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/es/biblio-1390105>
2. Niemann U, Spiliopoulou M, Malanowski J, Kellersmann J, Szczepanski T, Klose S, et al. [Plantar temperatures in stance position: A comparative study with healthy volunteers and diabetes patients diagnosed with sensoric neuropathy¹](#). EBioMedicine. 2020 Apr;54:102712².
3. Hutting KH, aan de Stegge WB, Kruse RR, van Baal JG, Bus SA, van Netten JJ. [Infrared thermography for monitoring severity and treatment of diabetic foot infections¹](#). Vasc Biol. 2020;2(1):1-10. doi: 10.1530/VB-20-0003
4. van Netten JJ, Puijs M, van Baal JG, Liu C, van der Heijden F, Bus SA. Diagnostic values for skin temperature assessment to detect diabetes-related foot complications. Diabetes Technol Ther. 2014 Nov;16(11):714-21. doi: 10.1089/dia.2014.0052.
5. Armstrong DG, Lipsky BA, Polis AB, Abramson MA. [Does dermal thermometry predict clinical outcome in diabetic foot infection? Analysis of data from the SIDESTEP* trial³](#). Int Wound J. 2006 Dec;3(4):302-7. doi: 10.1111/j.1742-481X.2006.00269. PMID: 17199766; PMCID: PMC7951616⁶.
6. Faus Camarena M, Izquierdo-Renau M, Julian-Rochina I, Arrébola M, Miralles M. [Update on the Use of Infrared Thermography in the Early Detection of Diabetic Foot Complications: A Bibliographic Review¹](#). Sensors (Basel). 2024 Jan;24(1):252. doi: 10.3390/s24010252
7. Gatt A, Falzon O, Cassar K, Ellul C, Camilleri KP, Gauci J, et al. Establishing Differences in Thermographic Patterns between the Various Complications in Diabetic Foot Disease. Int J Endocrinol. 2018;2018:9808295. doi: 10.1155/2018/9808295.
8. Roback K, Johansson M, Starkhammar A. Feasibility of a thermographic method for early detection of foot disorders in diabetes. Diabetes Technol Ther. 2009;11(10):663-667. doi:10.1089/dia.2009.0053

9. Búsqueda [Internet]. Bvsalud.org. [Consultado el 31 de marzo de 2024]. Disponible en: https://pesquisa.bvsalud.org/portal/decs-locator/?lang=es&mode=&tree_id=C18.452.394.750.
10. Arias Rodríguez FD, Jiménez Valdiviezo MA, Ríos Criollo KC, Murillo Araujo GP, Toapanta Allauca DS, Rubio Laverde KA, Barreno Yandún YP, Moposita Alvarado MM, Trejo Pincay MB. Pie diabético. Actualización en diagnóstico y tratamiento. Revisión bibliográfica. *Angiología*. 2023;75(4):242-258.
11. Picón-Jaimes YA, Orozco-Chinome JE, Molina-Franky J, Franky-Rojas MP1. Control central de la temperatura corporal y sus alteraciones: fiebre, hipertermia e hipotermia²³. *MedUNAB*. 2020;23(1):118-130. doi:10.29375/01237047.3714
12. Picó-Guzmán FJ, Martínez-Montañez OG, Ruelas-Barajas E, Hernández-Ávila M. [Estimación del impacto económico por complicaciones cardiovasculares y de diabetes mellitus 2019-2028¹](#). *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*. 2022;60 Supl 2:S86-95⁴
13. Torres-Machorro A, Ruben-Castillo C, Torres-Roldán JF, Miranda-Gómez OF, Catrip-Torres J, Hinojosa CA. [Estado actual, costos económicos y sociales del pie diabético y las amputaciones en la población mexicana¹](#). *Rev Mex Angiol*. 2020;48(2):53-64
14. Khandakar A, Chowdhury MEH, Reaz MBI, Ali SHM, Hasan MA, Kiranyaz S, Rahman T, Alfkey R, Bakar AAA, Malik RA. A machine learning model for early detection of diabetic foot using thermogram images. *Comput Biol Med*. 2021 Oct;137:104838. doi: 10.1016/j.combiomed.2021.104838
15. Astasio-Picado Á, Escamilla Martínez E, Gómez-Martín B. Mapa térmico comparativo del pie entre pacientes con y sin diabetes mediante el uso de termografía infrarroja. *Enferm Clin*. 2020 Mar-Apr;30(2):119-123. doi: 10.1016/j.enfcli.2018.11.002.
16. Boulton AJ, Vileikyte L. "Microvascular dysfunction and diabetic foot complications." *New England Journal of Medicine*. 2010;363:236-244.
17. Ammer K. "Infrared thermography in clinical diagnostics." *Thermology International*. 2015;25(3):107-118.

Anexo B: consentimiento informado



**Carta de consentimiento informado para participación en
protocolos de investigación en salud
(adultos)**

Jesús María, Aguascalientes ____/____/____

Lugar y fecha

No. de registro institucional PENDIENTE

Título del protocolo:

Caracterización del paciente diabético con amputación de extremidad inferior por medio de Termografía plantar en el Hospital General de Zona No. 3 en Jesús María, Aguascalientes.

Justificación y objetivo de la investigación:

La termografía es una herramienta valiosa en la detección temprana y el monitoreo del pie diabético, una complicación frecuente y potencialmente grave de la diabetes. El pie diabético se caracteriza por la presencia de neuropatía periférica y enfermedad vascular periférica, que pueden dar lugar a úlceras y lesiones en los pies. La termografía, que utiliza cámaras infrarrojas para medir la radiación de calor emitida por el cuerpo, puede ofrecer una serie de beneficios en la detección y el manejo de esta condición:

- a) Permite una evaluación no invasiva y sin contacto del pie diabético.
- b) Es una técnica rápida y eficiente para detectar áreas comprometidas en los pies de los pacientes diabéticos.
 - a. Puede identificar áreas de inflamación, infección o isquemia antes de que sean visibles o evidentes a simple vista.
- c) Puede desempeñar un papel importante en el seguimiento y la monitorización de los pacientes con pie diabético
- d) Herramienta útil en la educación y concienciación de los pacientes diabéticos.

Procedimientos y duración de la investigación

Se presentará el consentimiento informado de manera presencial a los participantes del estudio, ofreciendo toda la información necesaria. Si el paciente tiene duda en cuanto a la terminología o procedimientos a realizar, se explicará previo a iniciar.

Si usted decide participar en el estudio, acepta a la captura de imágenes termográficas:

1. Captura de fotografías termográficas comparativas de ambos pies.
2. Captura de fotografía termográfica de región frontal.

De igual manera, acepta la recopilación de datos demográficos y clínicos personales.

Riesgos y molestias:

La termografía es un procedimiento no invasivo y generalmente se considera seguro al no emitir radiación. La única molestia potencial será tomar unos momentos para la toma de fotografía y exposición de las extremidades

Beneficios que recibirá al participar en la investigación:

Detección temprana de complicaciones, acceso a un método no invasivo, monitoreo de estado de salud, contribución a investigación científica.

Información sobre resultados y alternativas de tratamiento:

Se informará de complicaciones detectadas al momento y se darán recomendaciones para continuar manejo ambulatorio y/o necesidad de manejo hospitalario.

Participación o retiro:

Usted es libre de decidir si participa en este estudio y podrá retirarse del mismo en el momento que lo desee sin que esto afecte la atención que recibe del Instituto. Todos productos y procedimientos necesarios y relacionados con el estudio serán gratuitos

Privacidad y confidencialidad:

Los datos personales serán completamente confidenciales en presentaciones o publicaciones derivadas de este estudio.

En caso de dudas o aclaraciones relacionadas con la investigación podrá dirigirse a:

Investigadora o Investigador Responsable: Dr. José Luis Bizueto Monroy

Teléfono y horario: 449 1535900, 41352. Lunes, miércoles y viernes de 20:00 -23:00hrs

En caso de dudas o aclaraciones sobre sus derechos como participante podrá dirigirse a:

Dr. Miguel Angel Mojarro Cisneros Teléfono: 449 265 4508 lunes a viernes de 8:00 a 15:00 hrs.

Declaración de consentimiento:

	Acepto participar y que se tomen los datos o muestras sólo para este estudio
	Acepto participar y que se tomen los datos o muestras para este estudio y/o estudios futuros

Se conservarán los datos o muestras hasta por 10 años tras lo cual se destruirán.

Dr. José Luis Bizueto Monroy

Nombre y firma del participante

Nombre y firma de quien obtiene el consentimiento

Nombre y firma del testigo 1

Nombre y firma del testigo 2

Anexo C: Manual Operacional para la Recolección de Datos.

Procedimientos para la Recolección de Información

Para garantizar la validez y confiabilidad de nuestro estudio, se seguirán procedimientos rigurosos desde la aprobación del protocolo hasta la toma de muestras y el análisis de datos.

1. Aprobación del Protocolo:

- Se solicitará la aprobación del anteproyecto por parte de las autoridades pertinentes del Hospital General de Zona No. 3 del Instituto Mexicano del Seguro Social en Aguascalientes, así como la autorización del Comité de Ética en Investigación y el Comité Local de Investigación en Salud.

2. Selección de Pacientes:

- Se designarán horarios específicos para la evaluación de pacientes con diagnóstico de pie diabético, tanto en turnos matutinos como vespertinos.
- La selección de pacientes se realizará de manera sistemática, con base en un censo previo de pacientes en urgencias y siguiendo criterios específicos de inclusión.

3. Consentimiento Informado:

- Antes de la participación en el estudio, se proporcionará a los pacientes y sus familiares una explicación detallada del protocolo de investigación, incluyendo objetivos, riesgos y beneficios.
- Se obtendrá el consentimiento informado de todas las partes involucradas, asegurando su comprensión y acuerdo con la participación en el estudio.

4. Historia Clínica:

- Se recopilarán datos demográficos y clínicos relevantes de los pacientes, incluyendo edad, sexo, antecedentes médicos, control metabólico y tratamiento actual.

5. Toma de Muestras:

- La toma de muestras de termografía plantar se llevará a cabo en una zona específica designada en el servicio de urgencias, la cual cuenta con una climatización ambiental controlable mediante aire acondicionado para mantener una temperatura estable y óptima para la toma de imágenes. Además, se dispondrá de un termómetro

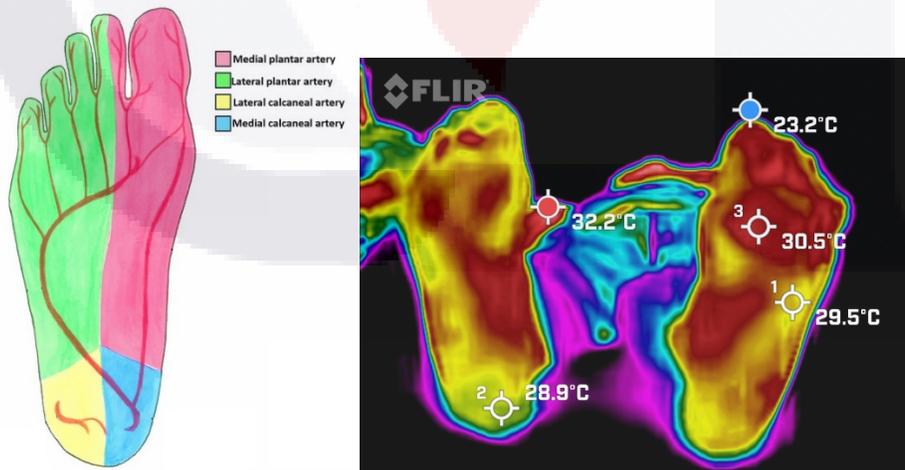
en la habitación para monitorear constantemente la temperatura ambiente y garantizar la consistencia de las mediciones.

- El paciente se colocará en decúbito supino, con sus extremidades inferiores descubiertas y sin calzado, en una posición que permita un acceso óptimo para la toma de imágenes. Se requerirá que el paciente permanezca en reposo absoluto durante 10 minutos, los cuales empiezan a contar a partir de tomar la posición antes mencionada, permitiendo así que su cuerpo alcance una temperatura basal estable y se regule térmicamente. Este período de reposo también ayudará a minimizar cualquier influencia externa que pueda afectar las mediciones termográficas.
- Se asegurará de que el pie del paciente esté limpio y seco antes de la toma de imágenes
- Se instruirá al paciente para que permanezca inmóvil durante la captura de imágenes.

6. Instrumentos para Utilizar

- **Cámara Termográfica Flir One Pro:**

1. Se utilizará esta cámara termográfica para capturar imágenes de las extremidades de los pacientes y registrar las variaciones de temperatura en los angiosomas especificados (Figura anexa).



2. Es importante destacar que la cámara termográfica Flir One Pro será utilizada junto con un smartphone Android o Apple debido a su compatibilidad con estas plataformas. La cámara se posicionará a una

distancia de 15 cm del pie del paciente para garantizar una captura precisa de las imágenes. La iluminación utilizada será la propia del cuarto, asegurando condiciones de iluminación adecuadas para la captura de imágenes termográficas.

3. Es relevante señalar que el uso de la cámara termográfica Flir One Pro es bastante sencillo, especialmente para los investigadores que ya están familiarizados con su funcionamiento por uso previo en el servicio de cirugía. Su interfaz de usuario es intuitiva y similar a la de una cámara de un smartphone, lo que facilita la selección de las zonas a medir. Los investigadores pueden utilizar la pantalla táctil para seleccionar hasta cinco zonas diferentes durante una misma captura, lo que permite una evaluación detallada de la distribución térmica en las extremidades del paciente.
4. Antes de cada sesión de captura de imágenes, se verificará y calibrará la cámara termográfica.

- **Hoja de Cálculo Excel:**

1. Se empleará una hoja de cálculo diseñada para este propósito para registrar y organizar las mediciones de temperatura obtenidas durante la termografía.
 - La hoja de cálculo diseñada para este estudio ha sido estructurada para facilitar la captura, organización y análisis de las mediciones de temperatura obtenidas durante la termografía. Esta herramienta, presenta una interfaz clara y fácil de usar que permite registrar de manera ordenada las mediciones termográficas de los angiosomas de los pacientes.
 - En cuanto a su organización, la hoja de cálculo está dividida en secciones que corresponden a cada uno de los angiosomas evaluados durante la termografía. Cada angiosoma tiene su propia columna designada, donde se registran las mediciones de temperatura obtenidas. Además, se incluyen filas adicionales para identificar claramente a cada paciente y las variables demográficas y clínicas relevantes obtenidas del expediente físico y electrónico.

- Para facilitar aún más la captura de datos, la hoja de cálculo está diseñada con fórmulas preconfiguradas que calculan automáticamente los promedios de temperatura y otros estadísticos descriptivos relevantes. Se han implementado funciones de validación de datos para garantizar la precisión de las entradas. Estas funciones alertan al usuario si se ingresan valores fuera del rango esperado, lo que ayuda a prevenir errores y garantiza la integridad de los datos.

7. Métodos para el Control y Calidad de los Datos

- Se realizará una validación cruzada entre el investigador principal y el investigador asociado. Ambos revisarán de manera independiente los datos capturados, asegurando que coincidan con las mediciones originales y que estén correctamente registrados en la hoja de cálculo.