



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS

AGROPECUARIAS

CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

**“TERMOGRAFÍA INFRARROJA COMO TÉCNICA
ALTERNATIVA PARA LA DETECCIÓN DE MASTITIS
SUBCLÍNICA BOVINA EN LA PARROQUIA CUMBE”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MEDICA VETERINARIA**

AUTORA: LISSETH ESTEFANÍA VEGA CÁRDENAS

DIRECTORA: DRA MERCY DEL CISNE CUENCA CONDOY, MSc

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA CIENCIAS

AGROPECUARIAS

CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

**“TERMOGRAFÍA INFRARROJA COMO TÉCNICA
ALTERNATIVA PARA LA DETECCIÓN DE MASTITIS
SUBCLÍNICA BOVINA EN LA PARROQUIA CUMBE”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MEDICA VETERINARIA**

AUTORA: LISSETH ESTEFANÍA VEGA CÁRDENAS

DIRECTORA: DRA MERCY DEL CISNE CUENCA CONDOY, MSc

CUENCA – ECUADOR

2024

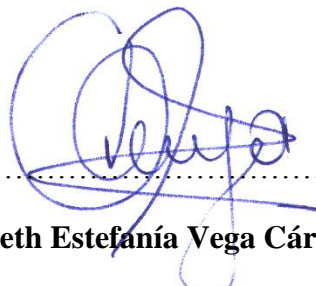
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Liseth Estefanía Vega Cárdenas portadora de la cédula de ciudadanía N° **0105757512**. Declaro ser la autora de la obra: **“Termografía Infrarroja como técnica alternativa para la detección de Mastitis Subclínica Bovina en la parroquia Cumbe”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **28 de junio de 2024**

F:



Liseth Estefanía Vega Cárdenas

C.I. 0105757512



CERTIFICACIÓN

Yo Mercy del Cisne Cuenca Condoy, Certifico que el presente trabajo con el tema “Termografía Infrarroja como técnica alternativa para la detección de Mastitis Subclínica Bovina en la parroquia Cumbe”, fue desarrollado por la señorita LISSETH ESTEFANÍA VEGA CÁRDENAS bajo mi supervisión.



firmado electrónicamente por:
**MERCY DEL CISNE
CUENCA CONDOY**

DRA. MERCY DEL CISNE CUENCA CONDOY

DIRECTORA

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis agradecimientos:

Al Centro de Investigación Innovación y transferencia de Tecnología (CITT) de la Universidad Católica de Cuenca, por su valioso apoyo y suministro de recursos, contribuyendo a la ciencia lo cual, ha sido crucial para el éxito de mi investigación. ¡Gracias por su compromiso!

Al Gad Parroquial Cumbe, por ser parte fundamental en el progreso y bienestar de la parroquia, precautelando el desarrollo de la zona rural.

A Inarconstructora, por su excelente asesoría. El profesionalismo y conocimiento han sido esenciales para ejecutar mi investigación en campo.

A mis queridos ganaderos de la parroquia Cumbe, por su invaluable colaboración en mi tesis, la generosidad al compartir sus experiencias, no solo enriquecieron mi investigación, sino que fortalecieron mi investigación. ¡Mil gracias!

A todos los docentes de la Facultad de Medicina Veterinaria, por su dedicación, conocimiento y calidez compartida a lo largo de mi formación académica.

A mis pares revisores: Ing. Hernán Gordon y Dr. Edwin Landi, a quienes agradezco profundamente por su tiempo, paciencia y valiosas sugerencias. Gracias por guiarme y ayudarme a alcanzar un nivel de excelencia en mi investigación.

A mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y por estar siempre a mi lado. Su presencia y cariño me fortalecen cada día. Los quiero mucho.

A mi estimada Tutora, Dra. Mercy Cuenca, por su tiempo invertido, contribuyó a mi crecimiento académico. ¡Gracias por todo lo aprendido!

Liseth Estefanía Vega Cárdenas

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a Dios, con profunda gratitud, reconozco que es la guía divina que ilumina mi vida y me da la fuerza para continuar este camino llamado vida, a mi querida familia, por los valores, el sentido de justicia, la lealtad y el amor por el prójimo que han inculcado en mí, inspirándome a ser mejor cada día.

A mi querido Fernando, por ser cómplice de mis anhelos, aventuras, sueños y proyectos. Tú cariño y apoyo incondicional, son mi mayor tesoro. Gracias por llenar mis días de alegría y hacer cada momento especial.

Liseth Estefanía Vega Cárdenas

INDICE

CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. FUNDAMENTO TEORICO	10
3. MATERIALES Y METODOS	12
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
5. CONCLUSIONES.....	20
6. BIBLIOGRAFIA	21
7. AUTORIZACIÓN	27

RESUMEN

El objetivo del estudio fue validar la utilización de la termografía infrarroja (TIR), como técnica de diagnóstico para mastitis subclínica bovina (MSB). Se evaluaron 250 hembras bovinas de la raza Holstein Friesian y sus cruces, del primer a sexto parto, que se encontraban entre los días 30 y 150 de lactancia, manejadas bajo sistema semi-intensivo en la parroquia Cumbe, cantón Cuenca-Ecuador. Inicialmente se detectó MSB utilizando termografía infrarroja, estableciendo previamente rangos de temperatura para cuartos sanos y enfermos. Los rangos térmicos se corroboraron con la prueba de campo California Mastitis Test (CMT). De los cuartos mamarios positivos a CMT y TIR, se recolectó muestras de leche en tubos falcón de 10 ml, para recuento de células Somáticas (RCS) mediante Ekomilk Scan. Las variables evaluadas fueron: Sensibilidad, Especificidad, Valor Predictivo Positivo (VPP) y Negativo (VPN), Índice de validez, Índice de Youden, Razón de Verosimilitud positiva y negativa. Los resultados determinaron una prevalencia de MSB del 28,8% y 16,5% a nivel de vacas y cuartos mamarios respectivamente. Respecto a las variables estudiadas se determinó un 99,46; 92,19; 97,60; 97,37; 98,33; 0,92; 12,73; y 0,01% de Sensibilidad, Especificidad, VPP, VPN, Índice de validez, Índice de Youden, Razón de Verosimilitud positiva y Verosimilitud negativa. No se evidenció correlación positiva entre la temperatura y humedad ambiental con los valores térmicos de la TIR. Se concluye que la técnica de Termografía Infrarroja podría implantarse como una técnica prometedora para la detección de MSB.

Palabras clave.

Mastitis bovina; termografía infrarroja; técnica diagnóstica

ABSTRACT

The study aimed to validate the use of infrared thermography (IRT) as a diagnostic technique for subclinical bovine mastitis (SBM). A total of 250 Holstein Friesian and crossbred female bovines were evaluated from the first to sixth calving, between 30 and 150 days of lactation, managed under a semi-intensive system in the Cumbe parish, Cuenca-Ecuador. Initially, SBM was detected using infrared thermography, with predefined temperature ranges for healthy and diseased quarters. These thermal ranges were validated through the California Mastitis Test (CMT) field test. From the positive mammary quarters for CMT and IRT, milk samples were collected in 10 ml falcon tubes for somatic cell count (SCC) using Ekomilk Scan. The evaluated variables included Sensitivity, Specificity, Positive Predictive Value (PPV), Negative Predictive Value (NPV), Validity Index, Youden Index, Positive and Negative Likelihood Ratio. The results showed a prevalence of SBM of 28.8% and 16.5% at cow and mammary quarter levels, respectively. Regarding the variables studied, Sensitivity, Specificity, Positive Predictive Value (PPV), Negative Predictive Value (NPV), Accuracy, Youden's Index, Positive Likelihood Ratio, and Negative Likelihood Ratio were determined as 99.46%, 92.19%, 97.60%, 97.37%, 98.33%, 0.92%, 12.73%, and 0.01%, respectively. No positive correlation was found between temperature and environmental humidity with the thermal values of IRT. It is concluded that Infrared Thermography could be implemented as a promising technique for SBM detection.

Keywords.

Bovine mastitis; infrared thermography; diagnostic technique

1. INTRODUCCIÓN

La mastitis bovina, es una enfermedad compleja, de alta incidencia y prevalencia a nivel mundial, con impacto negativo sobre el bienestar y salud de las vacas lecheras (Yang et al., 2022), con riesgo potencial para el desarrollo económico de la industria láctea y seguridad alimentaria (Hu et al., 2021), la más común y costosa del ganado lechero (Abebe et al., 2023), (Shah et al., 2023) y con alto potencial de transferencia zoonótica de las bacterias de la mastitis a los humanos (Soundhararajan et al., 2023).

La forma subclínica es la más peligrosa, considerando que no presenta signos visibles de la enfermedad; sin embargo, existe una reducción importante de la leche, con incremento en el número de células somáticas y cambios en su composición (El-Demerdash Azza S. et al., 2022). Por lo tanto, su detección oportuna es fundamental para mejorar la eficiencia del tratamiento y prevenir un mayor deterioro de la salud de la ubre (Xudong et al., 2020); no obstante, los métodos tradicionales para la detección de mastitis subclínica como: el recuento de células somáticas (RCS), la prueba California Mastitis Test (CMT), prueba de pH de la leche, conductividad eléctrica, entre otros, resultan complejos, tediosos, costosos o inadecuados para prácticas de producción a gran escala (Zhang et al., 2023); por ello, elegir la prueba de diagnóstico más adecuada para un programa sostenible de control de la salud de la ubre podría ser un verdadero desafío (Akköse & Polat, 2024).

La termografía infrarroja (TIR), actualmente se ha constituido en una herramienta diagnóstica no invasiva (Rasche et al., 2022), para la detección temprana y eficiente de mastitis subclínica en vacas lecheras (Colak et al., 2008), (Polat et al., 2010), (Samara et al., 2014), (Oliveira et al., 2022), (Neculai-Valeanu & Ariton, 2022), (Gayathri et al., 2023). Esta técnica aprovecha imágenes que revelan la distribución térmica en la superficie corporal y de la ubre (Machado et al., 2021), (Mayilsamy et al., 2023), donde la temperatura se eleva en áreas afectadas por infección microbiana, debido a un incremento en la circulación sanguínea subyacente y en la tasa de metabolismo tisular; la precisión con la TIR captura esta información y permite una evaluación minuciosa de la salud del ganado, consolidando así su papel fundamental en el diagnóstico de mastitis (Velasco et al., 2021), (Wang et al., 2023). Bajo este contexto, presentamos un enfoque novedoso proporcionando una metodología eficiente, precisa y no invasiva para la detección temprana y el manejo efectivo de esta condición, lo que resulta en beneficios significativos tanto para la salud de los animales como para la producción lechera basado en imágenes termográficas.

2. FUNDAMENTO TEORICO

En Ecuador, la actividad ganadera contribuye con el 5% del producto interno bruto agrícola (PIBA) nacional, (INIAP, 2017), siendo la presencia de mastitis subclínica bovina, un problema importante en la producción lechera, debido a la falta de protocolos zootécnicos para en el manejo de la leche y el ordeño, factor crítico que contribuye a la propagación de la enfermedad, así como la falta de programas de control y prevención ha llevado a una mayor incidencia de mastitis subclínica en Ecuador (Cuenca et al., 2021).

Los productores a menudo no tienen acceso a pruebas de diagnóstico para detectar casos subclínicos, lo que significa que la enfermedad puede pasar desapercibida durante mucho tiempo antes de ser tratada. Esto puede resultar en una mayor diseminación de la enfermedad dentro del rebaño y aumentar los costos asociados con su tratamiento (Bedolla & Ponce de León, 2008) (Vissio et al., 2015).

El desarrollo de sensores para monitorear la salud de la ubre bovina, reduce el esfuerzo físico y los costos de mano de obra mediante la automatización de los diferentes procesos, permitiendo a los productores facilitar el manejo zootécnico de grandes rebaños (Quirino et al., 2021).

La termografía infrarroja (TIR), es una moderna tecnología que utiliza por medio de cámaras que miden y toman imágenes de la radiación infrarroja emitida por los cuerpos sin necesidad de que haya luz visible, como esta radiación es en función de la temperatura de la superficie de un cuerpo, la cámara permite el cálculo y visualización de dicha temperatura, se han diseñaron cámaras infrarrojas mucho más sencillas, ligeras y asequibles (Prada, 2016).

Actualmente a nivel mundial, los veterinarios utilizan cámaras termográficas portátiles para detectar de manera precoz la inflamación de la glándula mamaria con un 96% de confiabilidad, mediante termografía infrarroja, esta técnica es considerada como emergente y de gran ayuda en procesos que cursan con hipertermia o hipotermia en la zona de estudio; que emite una imagen de la región en estudio del animal y la variación de la temperatura emitida (Rodríguez et al., 2008), sin embargo, se debe realizar una comparación a través del recuento de células somáticas (RCS), método aceptado como un estándar internacional para el diagnóstico de mastitis en hembras bovinas (Zhu et al., 2023), considerando un recuento < 200.000 cells/ml en ubres sanas y/o presencia de patógenos cultivables en la leche (Phiphattanaphiphop et al., 2023), (Williamson et al., 2022), (Cuccato et al., 2022).

2.1 Técnicas de Diagnóstico

Examen visual y palpación de la ubre afectada. La inflamación, el enrojecimiento y el dolor son signos visibles de mastitis clínica que pueden ser detectados mediante la

inspección visual y el tacto. Sin embargo, esta técnica no es efectiva para detectar casos subclínicos o crónicos de mastitis (Caraguay, 2012).

La aplicación del California Mastitis Test: Esta técnica de diagnóstico es utilizada para detectar la presencia de mastitis en las vacas lecheras, se realiza mediante la mezcla de una pequeña cantidad de leche de cada cuarto de la ubre con una solución que contiene un agente químico, es una técnica rápida, económica y fácil de realizar en el campo. Sin embargo, el CMT puede dar resultados falsos positivos en casos de inflamación no relacionada con mastitis o falsos negativos en casos leves o crónicos de mastitis (Cheng & Han, 2020).

Recuento de Células Somáticas: Esta prueba de laboratorio, ayuda a detectar la cantidad de células somáticas presentes en una muestra de leche lo que permite realizar pruebas oportunas y más específicas de muestras sospechosas a mastitis subclínica bovina (Jurado et al., 2020).

Cámaras térmicas: El uso de termografía infrarroja varía de la medicina humana a la medicina veterinaria, en las últimas décadas se ha consolidado como una técnica diagnóstica no invasiva (Rasche et al., 2022), En Medicina Veterinaria, se ha aplicado esta tecnología en especies de compañía y especies de producción cobrando importancia por su eficacia y fácil manejo (Tattersall, 2016).

La aplicación de esta biotecnología en especies menores, se evaluaron parámetros como: la sensibilidad y eficacia de la TIR como biomarcador predictivo, del dolor en puntos de tiempo específicos después de un estímulo doloroso como la castración en la población canina (Martin et al., 2022), además se ha evaluado el incremento de temperatura en una caminata de seis minutos para detectar en caninos el síndrome de obstrucción de las vías respiratorias, en caninos braquiocefálicos (Gallman et al., 2023).

En la medicina de especies mayores, la termografía infrarroja se ha aplicado en la identificación de problemas podales en bovinos, funcionando como una herramienta para el monitoreo automatizado de la salud de las pezuñas de los bovinos, en hatos lecheros (Chiu & Hsu, 2022), evaluaron el empleo de la TIR para detectar lesiones en las pezuñas del ganado en clima subtropical y concluyeron que esta técnica tiene gran potencial para utilizarse como herramienta de detección de lesiones en las pezuñas al integrar recursos automatizados, Lo que es apoyado por (Anagnostopoulos et al., 2021), quienes determinaron el potencial de la termografía infrarroja para asociar la temperatura interdigital de la piel con lesiones activas de dermatitis digital, constituyendo a la TIR como técnica diagnóstica de rutina en granjas lecheras de vacas Holstein, de granjas del norte de Inglaterra.

Se han desarrollado plataformas de TIR automatizada, para medir la temperatura de la piel y los movimientos de la cola como medio para identificar vacas en estro, comparando su eficacia con el análisis de progesterona de leche en línea (P4) (Herd Navigator System); la plataforma “Estrus BenchMark” detectó un 58% de vacas con alertas de estro y un 80% de vacas con alertas de anestro de confianza (Perez Marquez et

al., 2022). Así mismo utilizaron termografía infrarroja durante las fases de proestro y estro del ciclo reproductivo de novillas Gyr, y determinaron que la TIR es un método eficaz para detectar la variación de temperatura durante estas fases, considerando los efectos biológicos y ambientales en la recopilación e interpretación de los datos (Vicentini et al., 2020).

La TIR también es utilizada para determinar la salud de la ubre de la vaca; sin embargo, (Wang et al., 2023), señalan que la técnica es susceptible a la influencia de factores físico ambientales, como humedad y temperatura, además (Stumpf et al., 2021), indica que el uso de la termografía infrarroja para evaluar la temperatura del lado de la ubre, a través de un rectángulo horizontal colocado dentro de la porción lateral de la ubre, la misma que registró una correlación de 0.897 con la temperatura rectal; por lo tanto, los autores sugieren el uso de termogramas en la porción lateral de la ubre para evaluar la temperatura de los animales.

Para la detección de mastitis subclínica bovina se utilizó la TIR en las regiones anatómicas de la ubre anterior y posterior con los lados derechos e izquierdos, ajustando al plano anatómico, encontrando buena predicción de mastitis subclínica (Machado et al., 2021).

3. MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en la parroquia San Luis de Cumbe, cantón Cuenca provincia del Azuay, ubicada a 2.680 m.s.n.m, temperatura de 18°C, y precipitación anual promedio que oscila entre 650 y 1000 mm de lluvia, registrando los valores más altos de lluvia durante los meses de marzo y abril, ligeramente menor en el mes de diciembre, siendo julio – septiembre la época con menor precipitación (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cumbe, 2020).



Fuente: *Propia de la autora*

El experimento se llevó a cabo previo consentimiento informado y aprobado por parte de los propietarios en 250 vacas lactantes, de raza Holstein Friesian y sus cruces, aparentemente sanas, de primer a sexto parto, que se encontraban entre los días 30 y 150 de lactancia, manejadas bajo un sistema de alojamiento semi-intensivo, con ordeño mecánico o manual y dos ordeños/día, en horarios de 04:30am y 16:30pm.

La temperatura y humedad ambiental se observó durante el periodo de ordeño utilizando un Termómetro-higrómetro. La ubre se monitoreo después de la limpieza con agua destilada tipo I, desinfección con alcohol etílico de 70 grados y secado de los pezones con toallas de papel. Se tomaron imágenes térmicas de la superficie de la ubre utilizando una cámara infrarroja marca Autel, modelo MaxilRT IR100, serial S/N: R100M800901, de Software libre, orientada hacia adelante para monitorear la temperatura de cada cuarto de la ubre durante el ordeño de la mañana y tarde, paralelamente también se registró la temperatura corporal del animal durante todo el período experimental.

Es de importancia, la capacitación previa para el uso de la cámara térmica, fue calibrada a los siguientes parámetros la temperatura se ajustó a grados Celsius y la distancia a metros. Las imágenes termográficas se tomaron de 0.70m a 0.80m de distancia de la ubre, capturadas lateralmente para los cuartos anteriores y posteriores, siendo válidos para obtener una imagen clara, al no efectuarlo de esta manera existe el riesgo de capturar una imagen térmica, que no permita dar un diagnóstico adecuado, generando la elevación de falsos positivo o negativos, se debe dar mantenimiento y revisiones oportunas, como es recomendado por el fabricante, revisión previa de parámetros, porcentaje de batería, la limpieza externa en área de sensor térmico, ya que, debido al uso en áreas de exposición ambiental como polvo, viento y agua, pudieran afectar la calidad de la imagen y la medición térmica adecuada.

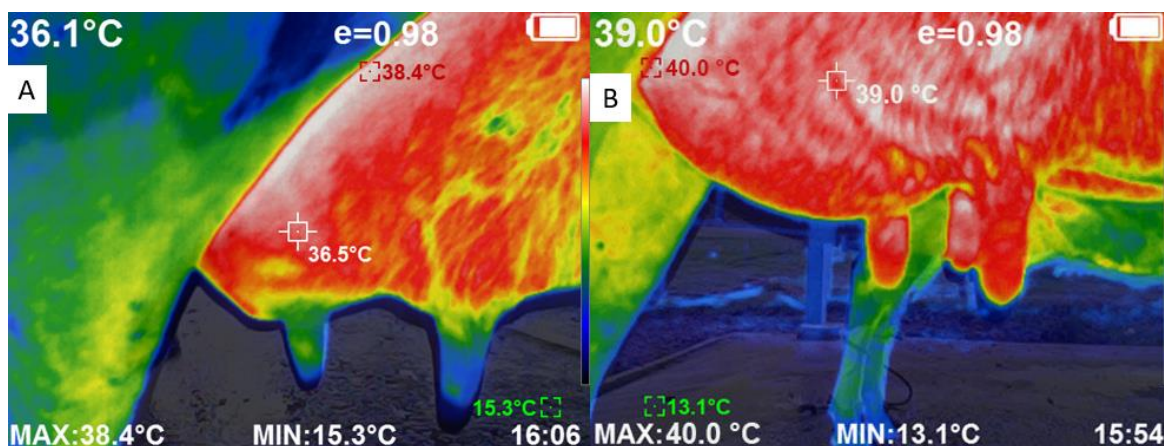


Figura 1. Termografía sin MSB

Figura 2. Termografía con MSB

De cada cuarto mamario que registró incremento de temperatura mediante el uso de termografía infrarroja, se procedió a realizar la prueba de campo California Mastitis Test (CMT); para ello, se eliminó los primeros chorros de leche y se recolectó 2 mililitros (ml) de leche en la paleta para el Test (CMT) y se adicionó 2 ml de reactivo de CMT, la mezcla se distribuyó de forma homogénea realizando movimientos circulares por 10 segundos (seg). La lectura cualitativa de la reacción creada entre el alquil-aril sulfonato de sodio y la cantidad de células somáticas (CS) presentes en la leche (gelificación), se realizó de acuerdo al método descrito por Smith en 1990, mencionando los sesgos del operador, muestra, equipamiento, selección y temporal, que pueden afectar la precisión de los resultados, se debe conocer los protocolos y mantener previa capacitación para mejorar la fiabilidad del método, citado por (Bedolla & Castañeda, 2007) y al riesgo de infección descrito por (Cuenca et al., 2021), la lectura cualitativa de CMT para detección de mastitis subclínica bovina fue confirmada con datos cuantitativos mediante el recuento de células somáticas (RCS) empleando el analizador de CS Ekomilk Scan, considerando que se debe de realizar una calibración previa al inicio de un uso intenso, una calibración regular de 2 a 3 meses, pero dependerá del número de muestras diarias que se obtengan, es de marca Ekomilk, modelo Ultra Pro, serial: SN S00802306, Bulgaria, el recuento se realizó mediante el método recomendado por la norma (INEN 9:2012).

La implementación de biotecnologías es una herramienta que ha venido optimizando los actuales sistemas de producción en el sector agropecuario en el desarrollo sostenible en la industria agropecuaria (Baes, 2017). Además de los impactos ambientales que genera la ganadería, en suelo y agua (Corral et al., 2021), motivo por el cual en este estudio, se tomó medidas preventivas como, el manejo de desechos de la prueba de CMT, mediante su recolección y posterior eliminación por sistema de alcantarillado, evitando la contaminación del ecosistema.

3.1 Análisis Estadístico

El análisis de prevalencia de mastitis subclínica bovina en animales y cuartos mamaros, se determinó según las fórmulas descritas por (Rodríguez, 2020).

$$\text{Prevalencia en vacas} = \frac{\text{Número de animales positivos}}{\text{Total de animales muestreados}} \times 100$$

$$\text{Prevalencia en Cuartos} = \frac{\text{Número de cuartos afectados}}{\text{Total de cuartos muestreados}} \times 100$$

Para evaluar el rendimiento de la termografía infrarroja en comparación con el CMT y el RCS para la detección de mastitis subclínica bovina, se consideró temperaturas de hasta 37.2°C como cuartos sanos considerando temperaturas superiores a esta como cuartos con MSB en rangos térmicos superiores a 38.5°C, rangos térmicos obtenidos en estudios como: (Sathiyabarathi et al., 2016) (Aytekin & Coşkun, 2021).

Se realizaron pruebas de correlación, análisis de sensibilidad y especificidad para analizar el rendimiento de la TIR según las fórmulas descritas por, (Xudong et al., 2020) verificadas en EPIDAT versión 3.1.

$$\text{Sensibilidad} = \frac{VP}{VP + FN}$$

$$\text{Especificidad} = \frac{VN}{VN + FP}$$

Considerando que la sensibilidad y la especificidad son medidas importantes de la exactitud diagnóstica de una prueba; sin embargo, no pueden ser usadas para estimar la probabilidad de enfermedad en un paciente individual (Bravo-Grau & Cruz Q, 2015), se calculó los valores predictivos positivos (VPP) y negativos (VPN) determinando así la probabilidad de que la prueba diagnóstica (TIR) entregue el diagnóstico correcto, en el caso de que MSB resulta positiva o negativa ante el RCS, y la exactitud de la prueba, para ello se utilizó las fórmulas descritas por (Vizcaino, 2017), verificadas con EPIDAT 3.1, en el mismo programa se analizó las curvas receiver operating characteristic (ROC) para determinar el punto de corte de la sensibilidad y especificidad más alto y evaluar la capacidad discriminativa de la TIR.

$$\text{Valor Predicito Positivo} = \frac{VP}{VP + FP}$$

$$\text{Valor Predicito Negativo} = \frac{FN}{FN + VN}$$

$$\text{Exactitud} = \frac{VP + VN}{n}$$

- VP = Verdaderos positivos
- VN = Verdaderos negativos
- FP = Falsos positivos
- FN = Falsos negativos

Para el análisis de estas variables se estableció con los siguientes rangos térmicos:

Rangos Térmicos	Recuento de Células Somáticas	Interpretación
32.1 -37.2	≤200.000	Negativo
37.3 – 38.0	201.000 – 400.000	Traza
38.1-38.8	401.000 – 800.000	Grado 1
38.9 – 39.6	801.000 – 1.500.000	Grado 2
>39.7	>1.500.000	Grado 3

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La prevalencia de mastitis subclínica, obtenida en el presente estudio, fue del 28,8%, (72/250), hembras bovinas positivas a MSB, a nivel de los cuartos mamarios del 16.5% (165/1000) y a nivel de hatos lecheros el 50% (11/22), en la Parroquia Cumbe, Azuay, Ecuador, a diferencia del estudio realizado por (Cuenca et al., 2021) quienes reportan resultados menores con una prevalencia del 9.1% (33/360), a nivel de cuartos mamarios del 4,03 % (58/1440) y en fincas del 56,5% (13/23) en Biblián, Cañar, Ecuador, pero los resultados emitidos en este estudio, resultaron menores a los datos reportados por (Ibarra et al., 2022), quienes indicaron en su estudio, una prevalencia de MSB del 35,71%, con la prueba de California Mastitis Test (CMT) en ganaderías lecheras del cantón Montúfar, Carchi, Ecuador, datos similares se registró el estudio realizado por (Avellán et al., 2019), con una prevalencia de MSB del 38,57% y en los cuartos mamarios del 15,76%, llevado a cabo en Rocafuerte, Manabí, Ecuador; Los resultados más elevados son emitidos por (Bonifaz & Conlago, 2016) quienes señalan en su estudio, una prevalencia del 64 % en los cuartos mamarios, en ganaderías de Cayambe, Pichincha-Ecuador, acotando que esta elevada prevalencia fue debida a la falta de aplicación de las buenas prácticas sanitarias en el ordeño.

En Latinoamérica países como: Perú, en un estudio realizado por (Sánchez & Mamani, 2022) en la provincia de Melgar-Puno, determinaron una prevalencia de MSB del 47% y 21% a nivel de vacas y cuartos mamarios respectivamente. En Colombia (Ramírez et al., 2014) reportan una prevalencia de MSB del 37.2%. La diferencia de resultados respecto a prevalencia de MSB se debe a las malas prácticas de higiene antes, durante y después del ordeño, en el trópico alto de Caldas - Colombia evaluaron la TIR, como herramienta de soporte para la detección de mastitis subclínica bovina en vacas Holstein, obteniendo como resultados que la herramienta desarrollada es eficiente, alcanzando valores cercanos al 90 % en todos sus indicadores de desempeño.

El análisis de correlación de Spearman, determinó que existe baja correlación negativa entre la humedad (-0.09) Am-Pm y temperatura del ambiente (-0.08) AM – PM, con los valores registrados por la TIR en glándula mamaria, los datos son apoyados por (Berry et al., 2003) quienes reportaron que la temperatura de la ubre bovina tiene un ritmo circadiano; por otra parte, se encontró alta correlación entre valor de la TIR con RCS (0.97).

Validación de TIR como técnica de diagnóstico para mastitis subclínica bovina frente a RCS.

Tabla 1. . Validación de la TIR registrada en la mañana y tarde, comparada con el RCS.

Variabes	TIR(AM) RCS	IC 95%	TIR(PM) RCS	IC 95%
Sensibilidad	99.48	98.19 - 100	100	99.74 - 100
Especificidad	100	99.15 - 100	89.83	81.27 – 98.39
Índice de Validez	99.6	98.62 - 100	97.60	95.50 – 99.70
Valor Predictivo +	100	99.74 - 100	96.95	94.30 – 99.61
Valor Predictivo -	98.33	94.26 - 100	100	99.06 - 100
Prevalencia	76.4	70.94 – 81.86	76.4	70.94 – 81.86
Índice de Youden	0.99	0.98 - 1	0.9	0.82 – 0.98
Razón de Verosimilitud +	0.01	-	9.83	4.61 – 20.99
Razón de Verosimilitud -	0.01	0.00 – 0.04	-	-

Tabla 2. . Validación de la TIR registrada en la mañana y tarde, comparada con el CMT.

Variabes	TIR(AM) - CMT	IC 95%	TIR(PM)-CMT	IC 95%
Sensibilidad	77.73	72.24 – 83. 23	77.41	71.89 - 82.92
Especificidad	58.33	26.27 – 90.39	54.55	20.57 – 88.52
Índice de Validez	76.80	71.37 – 82.23	76.4	70.94 – 81.86
Valor Predictivo +	97.37	94.83 – 99.91	97.37	94.83 – 99.91
Valor Predictivo -	11.67	2.71 – 20.62	10	1.58 – 18.42
Prevalencia	95.20	92.35 – 98.05	95.6	92.86 – 98.34
Índice de Youden	0.36	0.08 – 0.64	0.32	0.02 – 0.62
Razón de Verosimilitud +	1.87	0.95 – 3.66	1.7	0.89 – 3.27
Razón de Verosimilitud -	0.38	0.22 – 0.65	0.41	0.23 – 0.75

Las pruebas de sensibilidad determinaron que la TIR, es muy eficaz en detectar casos de mastitis subclínica, identificando correctamente el 99.46% de los animales enfermos, lo que indica alta precisión en esta estimación. Sin embargo, la especificidad es alta, con solo el 92.19%, de los animales sanos correctamente identificados como sanos, durante el ordeño de la mañana y tardes respectivamente; esto sugiere una baja tasa de falsos positivos. Datos similares reportan (Zhang et al., 2023), con el empleo de infrarrojos

térmicos para detección de MSB, reportando una sensibilidad del 86,67% y especificidad del 93,33%.

La proporción de los resultados (verdaderos positivos y verdaderos negativos) demostrados con el Índice de Validez (97.00 %), muestra que la precisión de la prueba es razonablemente alta para detección de MSB. Considerando que en todo proceso infeccioso como primer mecanismo de defensa el organismo tiende a elevar la temperatura, (Schaefer et al., 2004), realizó un ensayo utilizando la TIR para detectar incremento de temperatura en terneros con Diarrea Viral (DVB), confirmando que la técnica de termografía puede ser útil para detección temprana de procesos infecciosos; datos que son apoyados por (Quirino et al., 2022) quienes respaldan el uso de la TIR para detección de MSB apoyando la técnica con la prueba de campo CMT. Sin embargo, los datos difieren de los reportados por (Porcionato et al., 2009), (Oliveira et al., 2022), quienes indican que la técnica de termografía infrarroja no es eficiente para el diagnóstico de mastitis subclínica bovina, considerando que existe variaciones de temperatura superficial de la piel en una misma zona. Por su parte (Rodríguez et al., 2008) atribuye que el pliegue inguinal, pelo y suciedad son factores que alteran la temperatura superficial de la ubre.

Los valores obtenidos en este estudio, referente al Valor Predictivo Positivo (97.37%) señala que cuando la TIR indica mastitis, hay un 97.37% de probabilidad de que sea correcta; mientras que el Valor Predictivo Negativo (98,33%) señala que cuando la TIR indica que no hay mastitis, esa es la probabilidad de que realmente no exista mastitis. Datos similares reportan (Polat et al., 2010), quienes encontraron un valor predictivo positivo de 99,2% y el valor predictivo negativo de 86,1%, para detección de mastitis subclínica mediante Termografía Infrarroja.

El índice Youden alcanzado de 0.92 refleja el balance entre la alta sensibilidad y la alta especificidad, demostrando que la TIR tiene un alto rendimiento La razón de Verosimilitud Positiva de 1.59 indica que un animal con mastitis es 1.59 veces más probable de ser detectado positivo por la prueba que un animal sano; mientras que la razón de Verosimilitud Negativa de 0.01 indica que un animal sin mastitis es casi seguro de ser detectado negativo por la prueba. Este valor sugiere que la prueba es muy efectiva para confirmar la ausencia de la enfermedad.

La comparación de la efectividad de la TIR con el CMT como pruebas para la detección de mastitis subclínica bovina en el estudio demostró una precisión aceptable del 76.40-76.80%. Sin embargo, es importante considerar que el CMT es una prueba cualitativa, lo que puede generar variaciones en los resultados debido a la subjetividad en la interpretación de los grados de gelificación. Esta variabilidad puede depender del criterio de lectura de cada operador y del contexto específico en el que se realiza la prueba. Por ejemplo, estudios como los de Saran y Chafer, referidos por [22,23], han mostrado que la interpretación del CMT puede variar significativamente entre diferentes operadores, lo que podría afectar la sensibilidad y especificidad reportadas. Además, factores como la técnica de aplicación, la experiencia del operador y las condiciones ambientales pueden influir en la precisión de la prueba. Esta variabilidad intrínseca del CMT subraya la

ventaja de la TIR, que proporciona mediciones objetivas y cuantitativas, reduciendo la subjetividad y potencialmente mejorando la consistencia y la fiabilidad en la detección de mastitis subclínica.

Tabla 3. Evaluación la capacidad discriminadora de la TIR utilizando curvas ROC

Variables	Area ROC	EE	IC (95%)	
TIR -RCS	0.9997	0.0003	1.0003	DeLong
		0.0008	0.0014	Hanley & McNeil
TIR - CMT	0.6598	0.0799	0.8163	DeLong
		0.0747	0.8062	Hanley & McNeil

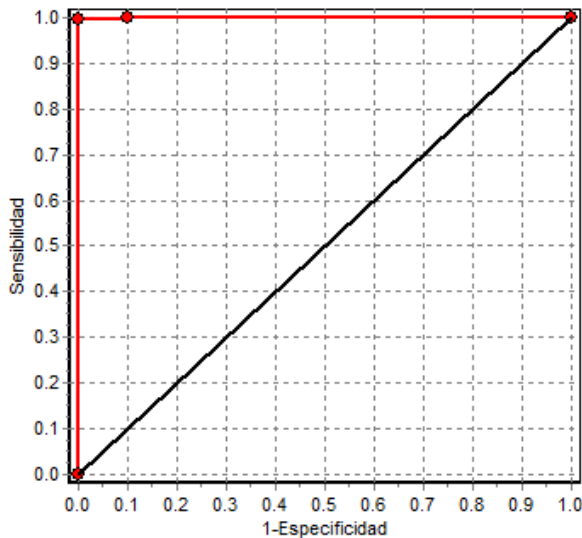


Figura 3. Curvas ROC, TIR – RCS

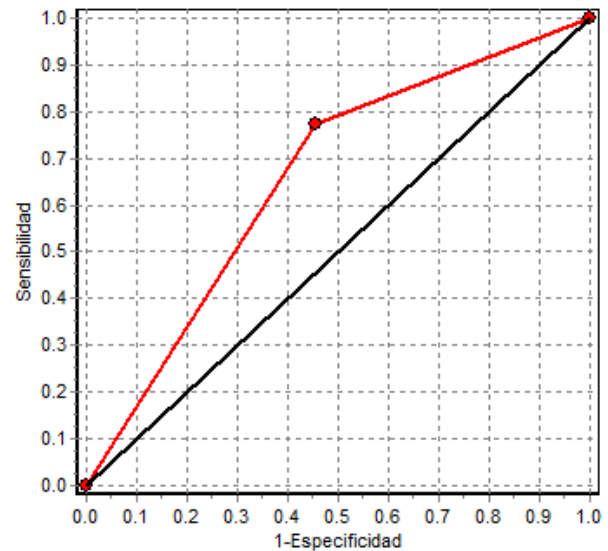


Figura 4. Curvas ROC, TIR - CMT

El valor del AUC de 0.7958 indica que la capacidad discriminadora de la termografía infrarroja para detectar mastitis subclínica es alta, lo que sugiere que la prueba tiene un desempeño excelente, los valores encontrados son más altos que los resultados expuestos por (Velasco et al., 2021) donde el valor AUC, obtenido es del 0.71, concluyendo que la implementación de la TIR, es un método confiable y clínicamente útil para el diagnóstico de ubres con crecimiento microbiano e infección intramamaria.

5. CONCLUSIONES

En este estudio, la TIR frente a RCS logró una precisión notable, con valores predictivos positivos y negativos que respaldan su utilidad diagnóstica. Sin embargo, la efectividad de la TIR en comparación con el California Mastitis Test (CMT) fue moderada, posiblemente debido a la naturaleza cualitativa del CMT, que puede generar interpretaciones variadas y afectar la consistencia de los resultados. A pesar de estos hallazgos positivos, es crucial reconocer que diversos factores ambientales, así como condiciones del ordeño y la presencia de obstáculos, pueden influir en la precisión de las mediciones térmicas. Estos factores subrayan la necesidad de desarrollar algoritmos avanzados que puedan ajustar y compensar estas variaciones para mejorar la exactitud de la TIR.

Los costos de implementación de biotecnologías como la termografía infrarroja, representa una inversión significativa inicial, en los hatos lecheros, sin embargo, son múltiples los beneficios que proporciona, al ser una herramienta rápida y oportuna para la detección de mastitis subclínica bovina, patología de alta prevalencia e incidencia, la TIR es de fácil manejo e interpretación proporcionando a mediano plazo mejoras a la rentabilidad económica del ganadero, generando de manera positiva la disminución de la huella verde.

6. BIBLIOGRAFIA

- Abebe, R., Markos, A., Abera, M., & Mekbib, B. (2023). Incidence rate, risk factors, and bacterial causes of clinical mastitis on dairy farms in Hawassa City, southern Ethiopia. *Scientific Reports*, *13*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37328-1>
- Akköse, M., & Polat, Y. (2024). Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of subclinical mastitis screening tests to use in large- and small-scale dairy farms in Türkiye. *Tropical Animal Health and Production*, *56*(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03844-5>
- Anagnostopoulos, A., Barden, M., Tulloch, J., Williams, K., Griffiths, B., Bedford, C., Rudd, M., Psifidi, A., Banos, G., & Oikonomou, G. (2021). A study on the use of thermal imaging as a diagnostic tool for the detection of digital dermatitis in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *104*(9), 10194–10202. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20178>
- Avellán Vélez Roque Heriberto, Zambrano Aguayo Marina Dalila, De La Cruz Veliz Laura Monserrate, Cedeño Carlos Alfredo, Delgado Demeraa María, Rezabala Zambrano Patricio Fabian, & Macías Moreira Yandri Andrés. (2019). Prevalencia de mastitis subclínica en el ganado bovino, mediante la prueba California Mastitis Test, en el cantón Rocafuerte de la provincia Manabí, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, *8*, 62–70. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7177567>
- Aytekin, İ., & Coşkun, G. (2021). Early Detection of Mastitis by using Infrared Thermography in Holstein-Friesian Dairy Cows via Classification and Regression Tree (CART) Analysis. *Selcuk Journal of Agricultural and Food Sciences*, *35*(2), 115–124. <https://doi.org/10.15316/SJA.FS.2021.237>
- Baes, G. C. J. (2017). Análisis del posible impacto positivo y negativo de implementación de biotecnología en las empresas Agropecuarias. *UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador*.
- Bedolla, C., & Castañeda, V. (2007). Métodos de detección de mastitis bovina . *REDVET*, 1–17.
- Bedolla, C., & Ponce de León, M. (2008). Pérdidas económicas ocasionadas por la mastitis bovina en la industria lechera. *REDVET*, 1–26. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63611952010>
- Berry, R. J., Kennedy, A. D., Scott, S. L., Kyle, B. L., & Schaefer, A. L. (2003). Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. *Canadian Journal of Animal Science*, *83*(4), 687–693. <https://doi.org/10.4141/A03-012>
- Bonifaz, N., & Colango, F. (2016). PREVALENCIA E INCIDENCIA DE MASTITIS BOVINA MEDIANTE LA PRUEBA DE CALIFORNIA MASTITIS TEST CON IDENTIFICACIÓN DEL AGENTE ETIOLÓGICO, EN PAQUIESTANCIA, ECUADOR. *La Granja* , *24*(2), 43–52.

- Bravo-Grau, S., & Cruz Q, J. P. (2015). Estudios de exactitud diagnóstica: Herramientas para su Interpretación. *Revista Chilena de Radiología*, 21(4), 158–164. <https://doi.org/10.4067/S0717-93082015000400007>
- Caraguay, M. E. (2012). Diagnóstico de mastitis subclínica por el método california mastitis test, aislamiento, identificación y sensibilidad del germen en las ganaderías de la parroquia Chantaco del cantón Loja. *Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables*.
- Cheng, W. N., & Han, S. G. (2020). Bovine mastitis: risk factors, therapeutic strategies, and alternative treatments — A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(11), 1699–1713. <https://doi.org/10.5713/ajas.20.0156>
- Chiu, Y.-J., & Hsu, J.-T. (2022). Integrated infrared thermography and accelerometer-based behavior logger as a hoof lesion identification tool in dairy cows with various foot diseases under subtropical climates. *Journal of Animal Science*, 100(10). <https://doi.org/10.1093/jas/skac271>
- Colak, A., Polat, B., Okumus, Z., Kaya, M., Yanmaz, L. E., & Hayirli, A. (2008). Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 91(11), 4244–4248. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1258>
- Corral, Z. C. A., Zambrano, S. L. J., Pincay, V. D. M., & Calo, G. S. G. (2021). IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA GANADERÍA EN LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE TSÁCHILAS. *UNESUM-Ciencias: Revista Científica Multidisciplinaria*, 5(2), 69–78.
- Cuccato, M., Divari, S., Sacchi, P., Girolami, F., & Cannizzo, F. T. (2022). MALDI-TOF mass spectrometry profiling of bovine skim milk for subclinical mastitis detection. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1009928>
- Cuenca-Condoy, M., García-Bracho, D., Reinoso-García, L., González-Rojas, J., & Torracchi-Carrasco, J. (2021a). Detección de Mastitis Subclínica Bovina y factores asociados, en fincas lecheras de la Provincia del Cañar – Biblián, Ecuador. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias*, XXXI(3), 93–97. <https://doi.org/10.52973/rcfcv-luz313.art3>
- Cuenca-Condoy, M., García-Bracho, D., Reinoso-García, L., González-Rojas, J., & Torracchi-Carrasco, J. (2021b). Detección de Mastitis Subclínica Bovina y factores asociados, en fincas lecheras de la Provincia del Cañar – Biblián, Ecuador. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias*, XXXI(3), 93–97. <https://doi.org/10.52973/rcfcv-luz313.art3>
- El-Demerdash Azza S., Neveen R. Bakry, Mohamed G Aggour, Sahar S. Elmasry, Rehab E. Mowafy, Ahmed Erfan, Mohamed F. Taha, Adel A.A.M. El-Gmaal, Abeer A.E. Mohamed, Naglaa Hagag, & Mohamed Samir. (2022). *Bovine Mastitis in Egypt: Bacterial Etiology and Evaluation of Diagnostic Biomarkers*. 60–69. <https://doi.org/10.47278/journal.ijvs/2022.161>

- Gallman, J., Lee-Fowler, T., Clark-Price, S., & Grobman, M. (2023). Evaluation of infrared thermography and 6-minute walk tests to assess airflow limitation, impaired thermoregulation, and exercise intolerance in dogs with brachycephalic obstructive airway syndrome. *PLOS ONE*, *18*(3), e0283807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283807>
- Gayathri, S. L., Bhakat, M., & Mohanty, T. K. (2023). Short-milking-tube thermograms: An alternative to udder thermograms for mastitis detection in Sahiwal cows. *Research in Veterinary Science*, *165*, 105056. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.105056>
- Hu, H., Fang, Z., Mu, T., Wang, Z., Ma, Y., & Ma, Y. (2021). Application of Metabolomics in Diagnosis of Cow Mastitis: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*, *8*. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.747519>
- Ibarra Rosero, E. M., Ormaza Montenegro, D. J., & Rueda Abad, R. J. (2022). Mastitis bovina en el cantón Montufar – Carchi. Prevalencia, agente causal y factores de riesgo. *AXIOMA*, *1*(26), 5–10. <https://doi.org/10.26621/ra.v1i26.735>
- INEN 9: (2012). *LECHE CRUDA. REQUISITOS. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 9:2012.*
- INIAP, E. E. T. P. (2017). Desafíos para una ganadería sostenible . *Ministerio de Agricultura y Ganadería Ecuador* , 441.
- Jurado, H. A., Solarte, C. E., Burgos, Á. J., González, A., & Rosero, C. (2020). Relationship of the compositional content and sanitary quality of Holstein cows' milk of the high tropic of Nariño. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *11*(2), 421–434. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i2.5118>
- Machado, N. A. F., Da Costa, L. B. S., Barbosa-Filho, J. A. D., De Oliveira, K. P. L., De Sampaio, L. C., Peixoto, M. S. M., & Damasceno, F. A. (2021). Using infrared thermography to detect subclinical mastitis in dairy cows in compost barn systems. *Journal of Thermal Biology*, *97*, 102881. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102881>
- Martin, M., Kleinhenz, M. D., Schwartzkopf-Genswein, K. S., Melendez, D., Marti, S., Pajor, E. A., Janzen, E. D., & Coetzee, J. (2022). Characterizing the diagnostic sensitivity and specificity of pain biomarkers in cattle using receiver operating characteristic curves. *Journal of Dairy Science*, *105*(12), 9853–9868. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21393>
- Mayilsamy, S., Sakthivel, J., Ayyasamy, M., Pushpadass, H. A., Muniyandi, S., & Ramesha, K. (2023). Influence of circadian rhythm, breed, stage of lactation, milk yield and parity on body and udder skin surface temperature of lactating cows monitored by infrared thermography. *Journal of Applied Animal Research*, *51*(1), 406–413. <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2212734>
- Neculai-Valeanu, A.-S., & Ariton, A.-M. (2022). Udder Health Monitoring for Prevention of Bovine Mastitis and Improvement of Milk Quality. *Bioengineering*, *9*(11), 608. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9110608>
- Oliveira, A. V. D., Reis, E. M. B., Ferraz, P. F. P., Barbari, M., Santos, G. S., Cruz, M. V. R., Silva, G. F., & Silva, A. O. L. (2022). Infrared thermography as a technique for detecting

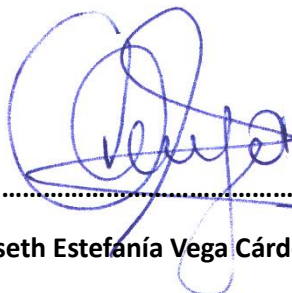
- subclinical bovine mastitis. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 74(6), 992–998. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12834>
- Perez Marquez, H. J., Schaefer, A. L., von Gaza, H., Ambrose, D. J., Cook, N. J., & Bench, C. J. (2022). Evaluating automated infrared thermography and vulva exposure tracking as components of an estrus detection platform in a commercial dairy herd. *Animal*, 16(8), 100585. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100585>
- Phiphattanaphiphop, C., Leksakul, K., Nakkiew, W., Phatthanakun, R., & Khamlor, T. (2023). Fabrication of spectroscopic microfluidic chips for mastitis detection in raw milk. *Scientific Reports*, 13(1), 6041. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33258-0>
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cumbe. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial - PDOT CUMBE 2020, Gobierno del Ecuador*.
- Polat, B., Colak, A., Cengiz, M., Yanmaz, L. E., Oral, H., Bastan, A., Kaya, S., & Hayirli, A. (2010). Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(8), 3525–3532. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2807>
- Porcionato, M. A. F., Canata, T. F., Oliviera, C. E. L. DE, & Santos, M. V. DOS. (2009). UDDER THERMOGRAPHY OF GYR COWS FOR SUBCLINICAL MASTITIS DETECTION. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 3(3), 251–257. <https://doi.org/10.18011/bioeng2009v3n3p251-257>
- Prada. (2016). La termografía infrarroja: un sorprendente recurso para la enseñanza de la física y la química. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 13(3), 617–627.
- Quirino, C., Jardim, J., Nogueira, L., González, A., & Madella, A. (2022). INFRARED THERMOGRAPHY TO MAP THE UDDER HEALTH STATUS OF ZEBUINE DAIRY COWS. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25.
- Quirino, C. R., Gazzoni Jardim, J., Milagres Nogueira, L., González, A. R. M., & Madella-Oliveira, A. F. (2021). INFRARED THERMOGRAPHY TO MAP THE UDDER HEALTH STATUS OF ZEBUINE DAIRY COWS. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(1). <https://doi.org/10.56369/tsaes.3491>
- Ramírez, N. F., Keefe, G., Dohoo, I., Sánchez, J., Arroyave, O., Cerón, J., Jaramillo, M., & Palacio, L. G. (2014). Herd- and cow-level risk factors associated with subclinical mastitis in dairy farms from the High Plains of the northern Antioquia, Colombia. *Journal of Dairy Science*, 97(7), 4141–4150. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6815>
- Rasche, S., Kleiner, C., Müller, J., Rost, A., Ghazy, T., Plötze, K., Tetzlaff, R., Matschke, K., & Bota, O. (2022). Infrared Thermographic Imaging of Chest Wall Perfusion in Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting. *Annals of Biomedical Engineering*, 50(12), 1837–1845. <https://doi.org/10.1007/s10439-022-02998-x>
- Rodríguez, P., Sánchez, A., Carvajal, J., Blanco, J., & Sánchez J.M. (2008). Aplicación de la termografía en el estudio de la ubre de los grandes rumiantes y en sus posibles complicaciones patológicas. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 2(2).

- Samara, E. M., Ayadi, M., & Aljumaah, R. S. (2014). Feasibility of utilising an infrared-thermographic technique for early detection of subclinical mastitis in dairy camels (*Camelus dromedarius*). *Journal of Dairy Research*, 81(1), 38–45. <https://doi.org/10.1017/S0022029913000605>
- Sánchez, D., & Mamani, G. (2022). Mastitis subclínica bovina y factores de riesgo ambientales en pequeños productores de ganado lechero criado en alta montaña. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 33(1), e20466. <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i1.20466>
- Sathiyabarathi, M., Jeyakumar, S., Manimaran, A., Pushpadass, H. A., Sivaram, M., Ramesha, K. P., Das, D. N., Kataktalware, M. A., Jayaprakash, G., & Patbandha, T. K. (2016). Investigation of body and udder skin surface temperature differentials as an early indicator of mastitis in Holstein Friesian crossbred cows using digital infrared thermography technique. *Veterinary World*, 9(12), 1386–1391. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.1386-1391>
- Schaefer, A. L., Cook, N., Tessaro, S. V., Deregts, D., Desroches, G., Dubeski, P. L., Tong, A. K. W., & Godson, D. L. (2004). Early detection and prediction of infection using infrared thermography. *Canadian Journal of Animal Science*, 84(1), 73–80. <https://doi.org/10.4141/A02-104>
- Shah, B. A., Avais, M., Khan, J. A., Rabbani, M., Anjum, A. A., Ali, M. A., Awais, M., Ahmad, S., & Azeem, S. (2023). Vaccines for Bovine Mastitis are Safe and Efficacious in Laboratory Animals. *Pakistan Journal of Zoology*, 55(6). <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20211212031238>
- Soundhararajan, R., Veerasami, M., Khan, S., Islam, A., & Srinivasan, H. (2023). Polyherbal nano formulation: A potent antibiotic resistance breaker in bovine mastitis causing MDR pathogens. *Journal of Molecular Liquids*, 392, 123477. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.123477>
- Stumpf, M. T., McManus, C. M., Daltro, D. S., Alfonzo, E. P. M., Dalcin, V., Kolling, G. J., Vieira, R. A., Louvandini, H., Fischer, V., & da Silva, M. V. G. B. (2021). Different methods of assessing udder temperature through thermography and their relation with rectal temperature. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 44. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02435-y>
- Tattersall, G. J. (2016). Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 202, 78–98. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2016.02.022>
- Velasco, J., Ceballes, C. C., Velásquez, D., Riaño, J. C., Giraldo, C. E., Carmona, J. U., & Ceballos-Márquez, A. (2021). Application of udder surface temperature by infrared thermography for diagnosis of subclinical mastitis in Holstein cows located in tropical highlands. *Journal of Dairy Science*, 104(9), 10310–10323. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19894>
- Vicentini, R. R., Montanholi, Y. R., Veroneze, R., Oliveira, A. P., Lima, M. L. P., Ujita, A., & El Faro, L. (2020). Infrared thermography reveals surface body temperature changes

- during proestrus and estrus reproductive phases in Gyr heifers (*Bos taurus indicus*). *Journal of Thermal Biology*, *92*, 102662. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102662>
- Vissio, C., Agüero, D., Raspanti, C., Odierno, L., & Larriestra, A. (2015). Pérdidas productivas y económicas diarias ocasionadas por la mastitis y erogaciones derivadas de su control en establecimientos lecheros de Córdoba, Argentina. *Archivos de Medicina Veterinaria*, *47*(1), 7–14. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2015000100003>
- Vizcaino, G. (2017). Importancia del cálculo de la sensibilidad, la especificidad y otros parámetros estadísticos en el uso de las pruebas de diagnóstico clínico y de laboratorio. *Medicina - Laboratorio*, *23*(7–8), 365–386.
- Wang, Y., Li, Q., Chu, M., Kang, X., & Liu, G. (2023). Application of infrared thermography and machine learning techniques in cattle health assessments: A review. *Biosystems Engineering*, *230*, 361–387. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.05.002>
- Williamson, J. R., Callaway, T. R., Rollin, E., & Ryman, V. E. (2022). Association of pre-treatment somatic cell counts with bacteriological cure following diagnosis of intramammary infection. *Research in Veterinary Science*, *152*, 537–545. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.09.015>
- Xudong, Z., Xi, K., Ningning, F., & Gang, L. (2020). Automatic recognition of dairy cow mastitis from thermal images by a deep learning detector. *Computers and Electronics in Agriculture*, *178*, 105754. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105754>
- Zhang, Q., Yang, Y., Liu, G., Ning, Y., & Li, J. (2023a). Dairy Cow Mastitis Detection by Thermal Infrared Images Based on CLE-UNet. *Animals*, *13*(13), 2211. <https://doi.org/10.3390/ani13132211>
- Zhang, Q., Yang, Y., Liu, G., Ning, Y., & Li, J. (2023b). Dairy Cow Mastitis Detection by Thermal Infrared Images Based on CLE-UNet. *Animals*, *13*(13), 2211. <https://doi.org/10.3390/ani13132211>
- Zhu, Z., Lin, B., Zhu, X., & Guo, W. (2023). A rapid method of identifying mastitis degrees of bovines based on dielectric spectra of raw milk. *Food Quality and Safety*, *7*. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyad014>

Liseth Estefanía Vega Cárdenas portadora de la cédula de ciudadanía N° **010575712**.
En calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación
**“Termografía Infrarroja como técnica alternativa para la detección de Mastitis Subclínica
Bovina en la parroquia Cumbe”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código
Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a
favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para
el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo
además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de
titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la
Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **28 de junio de 2024**



F:

Liseth Estefanía Vega Cárdenas

C.I. 0105757512