



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE AGROPECUARIA**

**CORRELACIÓN ENTRE EL CONTEO TOTAL DE CÉLULAS SOMÁTICAS CCS,  
CÉLULAS SOMÁTICAS DIFERENCIALES CCSD Y EL RECuento DE  
POLIMORFONUCLEARES PMN EN EL DIAGNÓSTICO TEMPRANO DE MASTITIS  
BOVINA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de ingeniera agropecuaria

AUTORA: JULISSA DE LOURDES PULAMARÍN SÁNCHEZ

TUTORA: NANCY FABIOLA BONIFAZ GARCÍA

Quito – Ecuador

2026

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo Julissa de Lourdes Pulamarín Sánchez con documento de identificación N° 1728772318 manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 9 de febrero del año 2026

Atentamente,



.....

Julissa de Lourdes Pulamarín Sánchez

1728772318

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Julissa de Lourdes Pulamarín Sánchez con documento de identificación No.1728772318, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo Experimental: “Correlación entre el conteo total de células somáticas CCS, células somáticas diferenciales CCSD y el recuento de polimorfonucleares PMN en el diagnóstico temprano de mastitis bovina”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera agropecuaria, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 9 de febrero del año 2026

Atentamente,



.....

Julissa de Lourdes Pulamarín Sánchez

1728772318

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Nancy Fabiola Bonifaz García con documento de identificación N° 0602085110, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CORRELACIÓN ENTRE EL CONTEO TOTAL DE CÉLULAS SOMÁTICAS CCS, CÉLULAS SOMÁTICAS DIFERENCIALES CCSD Y EL RECuento DE POLIMORFONUCLEARES PMN EN EL DIAGNÓSTICO TEMPRANO DE MASTITIS BOVINA , realizado por Julissa de Lourdes Pulamarín Sánchez con documento de identificación N° 1728772318, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 9 de febrero del año 2026

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Dra Nancy Bonifaz G.', written over a horizontal line.

Nancy Fabiola Bonifaz García

0602085110

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación, a Dios, por concederme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesaria para culminar esta importante etapa de mi formación profesional. A mi hijo, Eyson, quien es el motor de mi vida y la inspiración que me impulsa cada día a seguir adelante y superarme. A mi esposo, Ángel Lema, por su amor, comprensión, apoyo incondicional y respaldo durante todo este proceso. A mis queridos padres, Jorge Pulamarín y María Sánchez, quienes con su ejemplo de esfuerzo, sacrificio, responsabilidad y perseverancia me enseñaron el valor del trabajo honesto y la importancia de no rendirme ante las dificultades. A mis hermanos Fernando, Alex, Erick y Andy, por su compañía, cariño y motivación constante. Con profundo amor y gratitud, dedico este trabajo a toda mi familia, quienes han sido mi mayor fortaleza para cumplir esta meta.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana y a todos sus docentes, quienes, a lo largo de mi formación académica, compartieron sus conocimientos, valores y experiencia, contribuyendo de manera fundamental a mi desarrollo profesional. En especial, agradezco a mi tutora de tesis, Dra. Nancy Bonifaz, por su orientación constante, dedicación, paciencia y valioso acompañamiento durante todo el proceso investigativo. Al Ing. Janss Beltrán, director de carrera, por su apoyo y por la asesoría brindada en la parte estadística, la cual fue esencial para el análisis e interpretación de los resultados.

Agradezco también al grupo de investigación NUNKUI WAKAN, por permitirme formar parte de su equipo, apoyar el desarrollo y ejecución del este proyecto. A la Ing. Paola Simbaña, coordinadora del Laboratorio de Calidad de Leche, así como a todo su equipo de trabajo, por su colaboración, apoyo técnico y por facilitar el uso de los equipos e instalaciones requeridos para la realización de la tesis. Al Ing. Cristian Arias, por su valiosa colaboración en la toma de muestras. A todos los productores de leche que participaron en el estudio, quienes, con su apertura y colaboración, permitieron la obtención de las muestras necesarias para el desarrollo de esta investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT .....	XIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO CONCEPTUAL.....	4
<b>2.1. Etiología.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Conteo total de células somáticas CCS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Conteo diferencial de células somáticas CCSD .....</b>	<b>5</b>
<b>2.4. Sistema Inmunitario.....</b>	<b>6</b>
<b>2.4.1. Leucocitos .....</b>	<b>6</b>
<b>2.4.2. Linfocito B .....</b>	<b>7</b>
<b>2.5. Polimorfonucleares PMN .....</b>	<b>8</b>
<b>2.5.1. Neutrófilo .....</b>	<b>8</b>
<b>2.5.2. Eosinófilo.....</b>	<b>9</b>
<b>2.5.3. Basófilo .....</b>	<b>9</b>
<b>2.6. Monocito - Macrófago.....</b>	<b>10</b>
<b>2.6.1. Macrófagos proinflamatorios M1 .....</b>	<b>10</b>
<b>2.6.2. Macrófagos antiinflamatorios M2.....</b>	<b>11</b>
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	12

3.1. Ubicación.....	12
<b>3.2. Fase de campo.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.1. Prueba California mastitis test CMT.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.3. Toma de muestra de sangre .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3. Fase de laboratorio.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.1. Análisis de leche CCS y CCSD .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.2. Perfil hematológico .....</b>	<b>15</b>
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
<b>4.3. Conteo de células somáticas totales CCS .....</b>	<b>16</b>
5. CONCLUSIONES .....	29
6. RECOMENDACIONES.....	30
7. BIBLIOGRAFÍA.....	31
8. ANEXOS.....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Grado de mastitis bovina, de acuerdo al CMT y CCS</i> .....	16
<b>Tabla 2</b> <i>Frecuencia de CCSD de muestras de leche</i> .....	18
<b>Tabla 3</b> <i>Relación entre el conteo de células somáticas en leche y el recuento de leucocitos en sangre según el estado sanitario de la ubre bovina</i> .....	20
<b>Tabla 4</b> <i>Relación entre macrófagos presentes en la leche y monocitos circulantes en sangre en vacas lecheras con diferentes estados de salud mamaria</i> .....	23
<b>Tabla 5</b> <i>Parámetros celulares en leche y sangre</i> .....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Ubicación del área de estudio</i> .....	12
<b>Figura 2</b> <i>Porcentaje de grados de mastitis bovina y CCS</i> .....	17
<b>Figura 3</b> <i>Dispersión de los valores obtenidos de CCS y CCSD en los cuatro cuadrantes para la identificación del tipo de mastitis</i> .....	19
<b>Figura 4</b> .....	21
<b>Figura 5</b> <i>Correlación de macrófagos en leche y monocitos en sangre</i> .....	24

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> <i>Prueba de CTM por vaca</i> .....	40
<b>Anexo 2</b> <i>Limpieza, identificación y codificación de los frascos recolectores de leche, los cuales fueron posteriormente trasladados al Laboratorio de Calidad de Leche de la UPS para el respectivo análisis.</i> .....	41
<b>Anexo 3</b> <i>Toma de muestras de sangre</i> .....	42
<b>Anexo 4</b> <i>Muestras de sangre recolectadas que fueron trasladados al Laboratorio de Calidad de Leche para su respectivo análisis.</i> .....	43
<b>Anexo 5</b> <i>Muestras de leche en el laboratorio para el análisis de CCS Y CCSD</i> .....	44
<b>Anexo 6</b> <i>Procesamiento de las muestras de sangre en el laboratorio</i> .....	45

## RESUMEN

El presente estudio se desarrolló en fincas productoras de leche del cantón Cayambe y Pedro Moncayo, con el objetivo de cuantificar el conteo de células somáticas totales CCS y las células somáticas diferenciales CCSD en muestras de leche bovina mediante citometría de flujo, determinar el recuento de polimorfonucleares PMN en sangre mediante analizador hematológico y analizar la correlación entre estos parámetros para evaluar su valor diagnóstico en la detección temprana de mastitis. Se analizaron 77 muestras de leche y de sangre provenientes de bovinos en producción. Los resultados evidenciaron que los valores bajos de CCS y el predominio de macrófagos se asociaron con ubres sanas, mientras que el incremento del CCS junto con el aumento de neutrófilos y la disminución relativa de linfocitos indicó procesos inflamatorios compatibles con mastitis subclínica y clínica. Asimismo, el recuento de PMN en sangre mostró variaciones acordes con la respuesta inmunitaria sistémica frente a la infección intramamaria. El análisis conjunto del CCS, CCSD y PMN reveló una correlación biológica consistente entre la respuesta celular en leche y sangre. Se concluye que la integración de parámetros citológicos de leche y hematológicos sanguíneos constituye una herramienta confiable para la detección temprana de mastitis bovina y el monitoreo sanitario en sistemas lecheros del país, contribuyendo a mejorar la calidad de la leche y la sostenibilidad productiva.

***Palabras clave:*** mastitis, leche, células somáticas, leucocitos

## ABSTRACT

The present study was carried out on dairy farms located in the cantons of Cayambe and Pedro Moncayo, with the objective of quantifying the total somatic cell count (SCC) and differential somatic cell count (DSCC) in bovine milk samples using flow cytometry, determining the polymorphonuclear cell (PMN) count in blood through a hematological analyzer, and analyzing the correlation among these parameters to evaluate their diagnostic value in the early detection of mastitis. A total of 77 milk and blood samples from productive cattle were analyzed. The results showed that low SCC values and the predominance of macrophages were associated with healthy udders, whereas increased SCC together with higher neutrophil counts and a relative decrease in lymphocytes indicated inflammatory processes consistent with subclinical and clinical mastitis. Likewise, the PMN count in blood exhibited variations consistent with the systemic immune response to intramammary infection. The combined analysis of SCC, DSCC, and PMN revealed a consistent biological correlation between the cellular response in milk and blood. It is concluded that the integration of milk cytological and blood hematological parameters constitutes a reliable tool for the early detection of bovine mastitis and health monitoring in dairy production systems of the country, contributing to improved milk quality and productive sustainability.

**Keywords:** mastitis, milk, somatic cells, leukocytes

## 1. INTRODUCCIÓN

La mastitis bovina constituye una de las enfermedades más frecuentes y costosas en la producción lechera, tanto a nivel mundial como en el Ecuador, debido a su impacto directo en la cantidad y calidad de la leche y a los costos asociados a su tratamiento y manejo (Orozco & Santana, 2022; Tommasoni et al., 2023). Esta patología puede presentarse en forma clínica, con signos evidentes de inflamación en la glándula mamaria, o subclínica, donde los animales afectados no muestran síntomas visibles, lo que, dificulta su detección temprana y aumenta el riesgo de propagación dentro del hato (López & Mendoza, 2022; Khasapane et al., 2023).

La mastitis bovina representa un desafío sanitario y económico significativo para los productores lecheros, especialmente los pequeños y medianos, quienes dependen de la leche como fuente principal de ingresos (Smith et al., 2001; Bonifaz & Conlago, 2016). La presencia de patógenos como *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus uberis*, *Escherichia coli* y *Klebsiella spp* han sido identificados como causante de gran parte de los casos de mastitis clínica y subclínica, evidenciando la necesidad de estrategias de diagnóstico más precisas y tempranas (Bonifaz et al., 2024; Garzón & Rivera, 2024).

El diagnóstico temprano de la mastitis, particularmente en su forma subclínica, es crucial para minimizar pérdidas y mejorar la eficiencia productivo (López et al., 2022; Pakrashi et al., 2023). Herramientas como el recuento de células somáticas totales CCS, el recuento diferencial de células somáticas CCSD y la medición de polimorfonucleares PMN en sangre permiten identificar la inflamación de la ubre antes de la aparición de signos clínicos evidentes, facilitando la

implementación de medidas preventivas y correctivas oportunas (Huang & Kusaba, 2022; Pegolo et al., 2023; Lakshmi et al., 2024).

Además, estudios recientes demuestran que el uso combinado de CCS y CCSD ofrece un enfoque más preciso para evaluar la salud de la ubre, identificar vacas susceptibles y detectar eventos de mastitis crónica, contribuyendo a la mejora del manejo sanitario del hato (Bobbo et al., 2020; Damm et al., 2017; Jiang et al., 2022). Este conocimiento resulta fundamental para optimizar la producción de leche de calidad, cumplir con los estándares sanitarios y fortalecer la competitividad del sector lácteo a nivel regional y nacional (Arias et al., 2024; Bedolla et al., 2022; Du et al., 2024).

Investigar la correlación entre CCS, CCSD y PMN en vacas lecheras del cantón Cayambe no solo contribuirá al control y prevención de la mastitis, sino que también permitirá generar información científica aplicable para mejorar la salud del hato, la calidad de la leche y la sostenibilidad económica de los productores locales, respaldando la toma de decisiones basada en evidencia y fomentando prácticas de manejo más eficientes (Fadillah et al., 2023; Jacobsen et al., 2023; Ramuada et al., 2024).

El recuento de células somáticas totales CCS y diferenciales CCSD, así como el análisis de polimorfonucleares PMN en sangre, han demostrado ser herramientas prometedoras para la evaluación de la salud de la ubre y la detección precoz de la enfermedad (Bedolla et al., 2022; Jiang et al., 2022; Fonseca et al., 2025). Sin embargo, la correlación entre estos indicadores aún no ha sido completamente establecida en el contexto regional, limitando la implementación de protocolos

de diagnóstico eficientes que permitan reducir pérdidas económicas y mejorar la calidad de la leche (Bobbo et al., 2020; Rambault et al., 2023).

Tomando en cuenta los antecedentes expuestos en el presente trabajo de investigación, se describen los siguientes objetivos que fueron; cuantificar el conteo total de células somáticas CCS y la proporción de células somáticas diferenciales CCSD mediante citometría de flujo en muestras de leche bovina en fincas productoras del cantón Cayambe; también determinar el recuento de polimorfonucleares PMN de muestras sangre mediante impedancia y diferenciación química con analizador hematológico y finalmente analizar la correlación entre el conteo total de células somáticas totales CCS, el CCSD y el recuento de PMN para identificar su valor diagnóstico en la detección temprana de mastitis.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

La mastitis bovina es una enfermedad inflamatoria de la glándula mamaria causada principalmente por infecciones intramamarias (IMI) que afectan tanto la salud de la vaca como la calidad de la leche producida ( Tommasoni et al., 2023;Fonseca et al., 2025). Se clasifica en clínica, donde aparecen signos visibles como enrojecimiento, dolor y alteración del aspecto de la leche, y subclínica, que no presenta síntomas evidentes pero provoca un aumento del recuento de células somáticas (Khasapane et al., 2023; Ramuada et al., 2024). La mastitis subclínica es especialmente prevalente y difícil de detectar, siendo de 15 a 40 veces más frecuente que la forma clínica (Tommasoni et al., 2023).

### 2.1.Etiología

La mastitis bovina puede ser causada por una diversidad de patógenos bacterianos, siendo los más frecuentes *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Escherichia coli* y *Klebsiella spp.*, así como otros microorganismos Gram positivos y negativos que varían según la región y las prácticas de manejo del hato (Bonifaz et al., 2024; Garzón & Rivera, 2024; Gomez & Ponce, 2024).

### 2.2. Conteo total de células somáticas CCS

Se reconoce como un indicador clave de la salud de la ubre, pues cuantifica el total de células inmunitarias presentes en la leche (Smistad et al., 2024). Valores superiores a 200 000 células/mL suelen asociarse con infecciones intramamarias o mastitis, tanto clínicas como subclínicas, y repercuten en la calidad higiénica del producto y en la rentabilidad de la producción (Halasa & Kirkeby, 2020; Moctezuma et al., 2025). El CCS permite identificar de manera temprana

procesos inflamatorios en la glándula mamaria y desarrollar estrategias de manejo que disminuyan pérdidas económicas y aseguren altos estándares de inocuidad (Ruegg & Pantoja, 2013).

Estudios recientes confirman que el CCS continúa siendo una herramienta fiable para la supervisión rutinaria en los programas de control lechero (Deng et al., 2020). Su medición regular, por ejemplo, mediante registros mensuales, ayuda a detectar animales con mayor riesgo de mastitis y a optimizar decisiones de tratamiento y descarte (Schwarz et al., 2020).

### **2.3. Conteo diferencial de células somáticas CCSD**

El conteo diferencial de células somáticas CCSD ofrece una visión más detallada que el CCS, ya que determina la proporción de neutrófilos polimorfonucleares, linfocitos y macrófagos presentes en la leche, este enfoque permite evaluar la dinámica de la respuesta inmunitaria en la glándula mamaria y detectar cambios inflamatorios incluso cuando el CCS total permanece en niveles bajos (Zecconi et al., 2020; Orozco & Santana, 2022).

La introducción de analizadores automáticos de alta precisión ha facilitado la aplicación del CCSD como herramienta de monitoreo rutinario, investigaciones recientes muestran que este recuento es particularmente útil para identificar variaciones en las fracciones proteicas de la leche y para mejorar los programas de control de mastitis subclínica (Bisutti et al., 2022). Asimismo, su integración con el CCS permite un diagnóstico más certero de las infecciones intramamarias, lo que favorece decisiones de manejo y tratamiento más específicas, optimizando la calidad del producto final (Schwarz et al., 2020).

## **2.4. Sistema Inmunitario**

El sistema inmunitario bovino constituye un conjunto de mecanismos biológicos destinados a proteger al organismo frente a la invasión de agentes patógenos y a mantener el equilibrio fisiológico necesario para la salud y la productividad animal, actuando de manera integrada a través de respuestas inmunitarias innatas y adaptativas que permiten reconocer, controlar y eliminar microorganismos potencialmente dañinos; en los bovinos, estas respuestas presentan características particulares que reflejan adaptaciones evolutivas frente a los patógenos más frecuentes a los que están expuestos, especialmente aquellos que afectan a la glándula mamaria, como ocurre en la mastitis bovina (Lesta et al., 2025).

La respuesta inmune de la ubre involucra células fagocíticas, macrófagos y linfocitos, así como receptores específicos como Toll-like (TLR) que reconocen patógenos y desencadenan la inflamación (Srithanasuwan et al., 2024). Esta respuesta es crucial para controlar la infección y prevenir daños graves en la glándula mamaria, especialmente en etapas de lactancia avanzada o en vacas periparto, donde los niveles energéticos influyen en la eficacia de los PMN (Srithanasuwan et al., 2024; Xie et al., 2025).

### ***2.4.1. Leucocitos***

Los leucocitos son células especializadas del sistema inmunitario que participan activamente en la defensa del organismo frente a agentes patógenos, estas células se encuentran tanto en la sangre como en diversos tejidos y fluidos corporales, incluida la leche bovina, y cumplen un papel fundamental en el reconocimiento y la respuesta frente a infecciones mediante mecanismos de defensa innatos y adaptativos (Lesta et al., 2025).

En la glándula mamaria bovina, los leucocitos desempeñan un rol esencial durante las infecciones intramamarias, ya que su activación y reclutamiento permiten iniciar y regular la respuesta inflamatoria necesaria para controlar la proliferación de microorganismos patógenos, por lo cual actúan a través de procesos como la fagocitosis, la producción de anticuerpos y la liberación de mediadores inflamatorios y proinflamatorios, los cuales contribuyen a la activación y coordinación de la respuesta inmunitaria, especialmente en enfermedades como la mastitis bovina (Tomes et al., 2024;Lesta et al., 2025).

#### ***2.4.2. Linfocito B***

Los linfocitos B forman parte del sistema inmunitario adaptativo y cumplen un papel fundamental en la inmunidad humoral, ya que poseen la capacidad de reconocer antígenos específicos y diferenciarse en células plasmáticas encargadas de la producción de inmunoglobulinas, lo que contribuye a la neutralización y eliminación de patógenos y permite una respuesta inmunitaria específica y eficaz en la a eliminación de patógenos (Zhang et al., 2023).

Además de la producción de anticuerpos, los linfocitos B pueden actuar como células presentadoras de antígenos, facilitando la activación de otras células del sistema inmunitario ya que durante los procesos infecciosos como la mastitis bovina, se ha observado que las infecciones pueden alterar tanto el número como la funcionalidad de los linfocitos B, lo que refleja su participación directa en la respuesta inmunitaria frente a patógenos intramamarios (Zhang et al., 2023).

La interacción entre los linfocitos B y otras células inmunitarias, como los macrófagos, resulta clave para mantener el equilibrio inmunológico y regular la intensidad de la respuesta inflamatoria (Su et al., 2024).

## **2.5. Polimorfonucleares PMN**

Los PMN son leucocitos esenciales en la defensa innata de la vaca contra infecciones bacterianas (Patiño & Garcia, 1991; Xie et al., 2025). Su función incluye fagocitosis, migración hacia los sitios de inflamación y eliminación de patógenos mediante mecanismos como la explosión oxidativa (Patiño & Garcia, 1991). Durante la mastitis, los PMN se movilizan desde la sangre hacia la ubre, aumentando el CCS y el CCSD, y reflejando la respuesta inmunitaria del animal (Rambault et al., 2023; Xie et al., 2025)

### ***2.5.1. Neutrófilo***

Los neutrófilos son células fagocíticas pertenecientes a la inmunidad innata y constituyen uno de los principales componentes celulares de la respuesta inflamatoria aguda, ya que son las primeras en migrar hacia los sitios de infección o daño tisular, donde ejercen funciones bactericidas esenciales mediante distintos mecanismos de defensa, entre los que se incluyen la fagocitosis, la de granulación, la producción de especies reactivas de oxígeno y la formación de trampas extracelulares de neutrófilos (NET), las cuales permiten atrapar y neutralizar patógenos (Patiño & Garcia, 1991; Rojas et al., 2024); en la glándula mamaria bovina, su rápida llegada resulta fundamental para limitar la diseminación de los microorganismos, aunque una activación excesiva puede contribuir al daño tisular como consecuencia de la liberación de enzimas proteolíticas y

compuestos oxidativos, lo que resalta la importancia de una regulación adecuada de la respuesta inflamatoria (Zemanova et al., 2022).

### ***2.5.2. Eosinófilo***

Los eosinófilos son células polimorfonucleares del sistema inmunitario que participan en la regulación de procesos inflamatorios y en la respuesta frente a estímulos inmunológicos específicos, si bien su intervención es menos relevante en infecciones bacterianas agudas, estas células contribuyen a la respuesta inmunitaria mediante la liberación de mediadores químicos y citocinas, los cuales influyen en la modulación de la inflamación y en la interacción con otras células del sistema inmunitario, favoreciendo el equilibrio inmunológico del organismo (Lesta et al., 2025).

### ***2.5.3. Basófilo***

Los basófilos son células polimorfonucleares que participan principalmente en la regulación de la respuesta inflamatoria, cuya función se asocia a la liberación de mediadores químicos que facilitan la comunicación entre las distintas células del sistema inmunitario; aunque su presencia es menos predominante durante las infecciones bacterianas, estas células contribuyen a la modulación de la respuesta inmunitaria y al mantenimiento del equilibrio inmunológico, actuando de forma complementaria junto a otras poblaciones celulares (Lesta et al., 2025).

## **2.6. Monocito - Macrófago**

Los monocitos-macrófagos son células clave del sistema inmunitario innato y cumplen funciones esenciales en la regulación de la respuesta inmunitaria, ya que los monocitos circulan en la sangre y, al migrar hacia los tejidos, se diferencian en macrófagos, adaptándose al microambiente donde se localizan (Zemanova et al., 2022); en la glándula mamaria bovina, los macrófagos presentes en la leche desempeñan un papel fundamental durante las infecciones intramamarias mediante la fagocitosis de patógenos invasores y la secreción de mediadores proinflamatorios, lo que contribuye a la activación y coordinación de la respuesta inmunitaria local (Tomes et al., 2024), además de participar tanto en la inmunidad innata como en la adaptativa, regulando los procesos inflamatorios y favoreciendo la comunicación con otras células inmunitarias, siendo la producción de citocinas como la interleucina-1 beta (IL-1 $\beta$ ) un indicador de su nivel de activación frente a este tipo de infecciones (Tomes et al., 2024); sin embargo, una activación prolongada o excesiva de macrófagos y neutrófilos puede generar daño en el tejido mamario debido a la liberación de intermediarios reactivos del oxígeno y enzimas degradativas, lo que resalta la importancia de una adecuada regulación de la respuesta inmunitaria (Zemanova et al., 2022).

### ***2.6.1. Macrófagos proinflamatorios M1***

Los macrófagos proinflamatorios, denominados M1, desempeñan un papel fundamental durante las fases iniciales de la respuesta inflamatoria, ya que participan activamente en la eliminación de bacterias y en el control de la infección mediante mecanismos fagocíticos y la producción de mediadores inflamatorios ( Orekhov et al., 2019;Bochniarz et al., 2024). Estos macrófagos presentan una elevada capacidad para generar óxido nítrico a partir de la arginina, lo que contribuye

al daño y eliminación de patógenos a través de la formación de compuestos reactivos (Orekhov et al., 2019). Durante procesos inflamatorios inducidos por estímulos ambientales o metabólicos, la polarización de macrófagos derivados de monocitos hacia el fenotipo M1 constituye un evento clave en la respuesta inflamatoria, habiéndose demostrado que concentraciones elevadas de ácidos grasos libres favorecen esta polarización en vacas lecheras sanas o con alteraciones metabólicas (Sun et al., 2024). En estudios in vitro, los macrófagos M1 han sido utilizados para evaluar su capacidad de fagocitar partículas bacterianas y producir especies reactivas de oxígeno, lo que evidencia su rol proinflamatorio en la defensa frente a infecciones (Danev et al., 2025).

### ***2.6.2. Macrófagos antiinflamatorios M2***

Los macrófagos antiinflamatorios, conocidos como M2, se asocian principalmente con la resolución de la inflamación y los procesos de reparación y regeneración tisular, contribuyendo a restablecer la homeostasis del tejido afectado tras la fase aguda de la infección (Orekhov et al., 2019). En la glándula mamaria bovina, estos macrófagos desempeñan un papel clave en la recuperación funcional del tejido, limitando el daño inflamatorio y favoreciendo la cicatrización, especialmente en infecciones persistentes que pueden generar alteraciones estructurales (Bochniarz et al., 2024). La diferenciación hacia este fenotipo funcional está influenciada por señales del microambiente tisular y por factores de crecimiento que regulan la activación de monocitos y macrófagos (Orekhov et al., 2019). Estudios experimentales han demostrado que los macrófagos derivados de monocitos pueden mantenerse en estados no polarizados o diferenciarse hacia fenotipos M2 en respuesta a factores secretados por células epiteliales mamarias bovinas, lo que resalta la importancia del entorno local en la modulación de la respuesta inmune durante la mastitis (Danev et al., 2025).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

La presente investigación se llevó a cabo en cinco fincas productoras de leche, de las cuales cuatro se encuentran ubicadas en el cantón Cayambe y una en el cantón Pedro Moncayo. En estas unidades productivas se recolectaron un total de 77 muestras de leche y sangre provenientes de vacas en diferentes etapas de lactancia.

**Figura 1**

*Ubicación del área de estudio*



Nota. Ubicación geográfica de las fincas ganaderas Cantón Cayambe y Pedro Moncayo

#### 3.2. Fase de campo

##### 3.2.1. Prueba California mastitis test CMT

Previo a la recolección de las muestras en cada finca, se aplicó la prueba California Mastitis Test CMT como evaluación inicial de tamizaje para saber si las vacas presentaban algún grado mastitis; para ello, se realizó el despunte de cada pezón, descartando los dos primeros chorros de leche de los cuatro cuartos de la ubre, siguiendo las recomendaciones de (Agrocalidad, 2020).

Posteriormente, se tomaron cerca de 2 ml de leche de cada cuarto y se depositaron en los pocillos de la paleta CMT, se agregó un volumen equivalente de reactivo y se homogeneiza la mezcla mediante movimientos circulares durante aproximadamente 10 segundos, tal como describe Rochmah et al., (2023) para la prueba CMT. (Anexo 1)

El procedimiento se basa en la adición de un reactivo detergente a la leche, generalmente alquil–aril sulfonato de sodio, el cual actúa sobre las células somáticas presentes, al romperse las membranas celulares se libera el ADN de los leucocitos, el cual interactúa con las proteínas de la leche, formando una sustancia de consistencia gelatinosa, si mayor es la cantidad de células somáticas, mayor será la formación de la gelatina observada, facilitando así la interpretación del resultado (FAO & IDF, 2004).

### **3.2.2. Toma de muestra de leche**

La recolección definitiva se realizaron en frascos plásticos estériles de 40 ml previamente identificados y codificados, conforme al protocolo LCL-INS-01 del Laboratorio de Calidad de Leche, para el análisis composicional de la leche, las muestras se almacenaron en frascos del mismo volumen con tapa roja, a los cuales se añadió una tableta de bronopol como conservante, luego los recipientes se transportaron en un recipiente refrigerado con gel, manteniendo una temperatura de 4–6 °C hasta su llegada al Laboratorio de Calidad de Leche de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), extensión Cayambe (Ballesteros & Valdivieso, 2018;Alvear et al., 2021). (Anexo 2)

El registro sistemático de los resultados del conteo de células somáticas a través de evaluaciones periódicas en vacas individuales constituye un elemento fundamental para el manejo sanitario del hato debido a que brinda información relevante tanto para el productor como para el

médico veterinario al facilitar la detección temprana de alteraciones en la salud de la glándula mamaria antes de la manifestación de signos clínicos evidentes si bien estas pruebas no permiten identificar de forma directa la causa ni el agente etiológico de la infección funcionan como una señal de advertencia temprana al indicar que un proceso inflamatorio podría estar en desarrollo lo que hace indispensable analizar los resultados obtenidos y adoptar decisiones oportunas orientadas a mejorar el control sanitario y la calidad de la leche (FAO & IDF, 2004).

### ***3.2.3. Toma de muestra de sangre***

La obtención de las muestras sanguíneas en bovinos se tomaron de la vena caudal o coccígea, una vía comúnmente empleada por su practicidad y seguridad, para el procedimiento, se mantiene al animal de pie y con una adecuada inmovilización, se levantó la cola con el fin de ubicar el vaso sanguíneo en la base ventral y se procedió a realizar la correcta desinfección del área previamente con alcohol al 70 % (Agrocalidad, 2018). (Anexo 3)

Se extrajo cerca de 5 ml de sangre con aguja Vacutainer o jeringa estéril, depositándose de inmediato en tubos al vacío de color lila que contendrán anticoagulante (EDTA), después de la recolección, los tubos se invierten suavemente en varias ocasiones para lograr una mezcla homogénea entre el aditivo y la muestra, posteriormente se conservaron en condiciones de refrigeración de 2 a 8 °C, dentro de recipiente térmico refrigerado con gel, garantizando la cadena de frío hasta el envío al laboratorio en un tiempo no mayor a 24 horas (Agrocalidad, 2018). (Anexo 4)

### **3.3. Fase de laboratorio**

#### ***3.3.1. Análisis de leche CCS y CCSD***

En el laboratorio, las muestras se procesaron por citometría de flujo con el equipo FOSSOMATIC 7 DC para determinar el conteo total de células somáticas CCS y el diferencial CCSD, de acuerdo con la ficha técnica descrita por Schwarz, (2017) se consideraron indicativas de mastitis subclínica las muestras que presentaron valores superiores a 200 000 células/ml, umbral de referencia reconocido para la detección de inflamación de la glándula mamaria por mastitis subclínica (Egyedy et al., 2022). (Anexo 5)

#### ***3.3.2. Perfil hematológico***

En el laboratorio se aplicaron protocolos destinados a preservar la calidad de las muestras. Según Zoetis, (2018) la transferencia al tubo con EDTA se realizará de forma inmediata, evitando retrasos mayores a 20 segundos, ya que estos pueden inducir formación de coágulos y que cada tubo debe ser invertido manualmente entre 10 y 15 veces para asegurar la correcta homogenización, sin agitar de manera brusca que pudiera dañar las células sanguíneas. (Anexo 6)

El procesamiento de las muestras se debe efectuar en un máximo de 4 horas cuando permanezcan a temperatura ambiente y hasta en 8 horas cuando fueran conservadas en refrigeración, posteriormente se dejarán reposar entre 10 y 15 minutos a temperatura ambiente antes de proceder al análisis, luego se invierten de 15 a 20 veces y observar que no se hayan formado coágulos para poder ingresar la muestra de sangre al equipo para su respectivo análisis hematológico, estas precauciones garantizarán resultados confiables en los estudios hematológicos efectuados con el analizador VETSCAN® HM5 (Zoetis, 2018). (Anexo 7)

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los objetivos planteados en el estudio se presentan a continuación los resultados obtenidos, mediante el muestreo de leche y sangre en campo y el análisis del laboratorio.

Las muestras de leche fueron tomadas previo análisis del CMT, la mayoría se tomaron a partir del grado de mastitis Trazas 200,000 - 400,000/ml, por lo tanto, se encontraron un menor porcentaje de casos negativos, ya que, el objetivo de la investigación es determinar los tipos de la mastitis bovina.

### 4.3. Conteo de células somáticas totales CCS

**Tabla 1**

*Grado de mastitis bovina, de acuerdo al CMT y CCS*

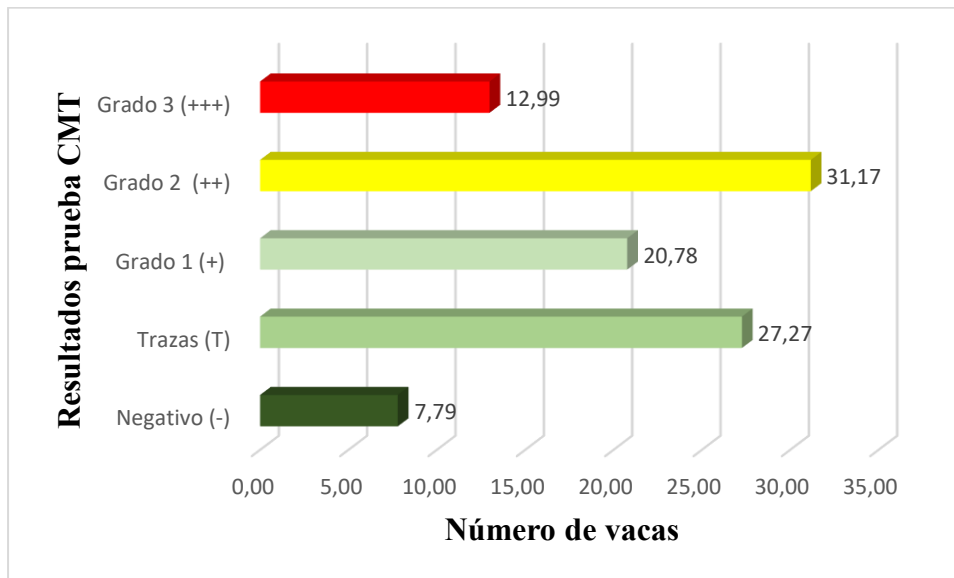
Grado de mastitis bovina, de acuerdo al CMT y CCS			
Categoría	CCS/ml	Número de vacas	Porcentaje
Negativo (-)	< 200.000	6	7,79%
Trazas (T)	200.000 - 400.000	21	27,27%
Grado 1 (+)	400.000 - 1.000.000	16	20,78%
Grado 2 (++)	1.000.000 - 5.000.000	24	31,17%
Grado 3 (+++)	> 5.000.000	10	12,99%
<b>Total, de vacas</b>		<b>77</b>	<b>100%</b>

Elaborado por: La autora, 2026

En la figura 2 se describe el porcentaje de animales positivos a mastitis bovina de 5 fincas ganaderas ubicadas en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo, de acuerdo con la prueba de campo CMT y el conteo de células somáticas totales observándose que, el 27,27% de casos se presenta en grado Trazas (T) 200.000 - 400.000/ml; 20,78% está en Grado 1 (+) 400.000-1.000.000/ml; 31,17% Grado 2 (++) 1.000.000-5.000.000/ml; 12,99 % Grado 3 (+++) > 5.000.000/ml.

**Figura 2**

*Porcentaje de grados de mastitis bovina y CCS.*



Elaborado por: La autora, 2026

En la Figura 2 los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian una presencia significativa de mastitis bovina distribuida en diferentes grados de severidad, con predominio de las fases iniciales de la enfermedad. Estos hallazgos guardan relación con lo señalado por Bonifaz (2016), quien reportó una prevalencia del 64 % de mastitis bovina en la parroquia Paquiestancia del cantón Cayambe. En comparación, en este estudio se registró una mayor frecuencia de mastitis grado 1 (+) 20,78% y grado 2 (++) 31,17 %, los cuales en conjunto representan el 51,95 % del total de casos evaluados, lo que sugiere una problemática sanitaria persistente en sistemas productivos similares.

De manera concordante, los resultados también presentan similitud con el estudio realizado por Orozco & Santana (2022) en el cantón Urcuquí, quienes reportaron una distribución de mastitis en grado trazas (13,01 %), grado 1 (+) con 20,33 %, grado 2 (++) con 15,45 % y grado 3 (+++) con 8,94 %. En el presente estudio se observó un comportamiento comparable, caracterizado por una mayor proporción de casos en los grados trazas, 1 y 2, y una menor frecuencia en el grado 3, lo cual evidencia que la mayoría de los animales afectados se encuentran en etapas tempranas o

moderadas de la enfermedad (Rochmah et al., 2023). Esta distribución podría estar asociada a limitaciones en la detección oportuna y a deficiencias en las prácticas de higiene durante el ordeño, así como a la ausencia de programas preventivos continuos, factores que influyen directamente en la aparición y progresión de la mastitis en explotaciones lecheras de pequeña y mediana escala (Bonifaz & Conlago, 2016).

**Tabla 2**

*Frecuencia de CCSD de muestras de leche*

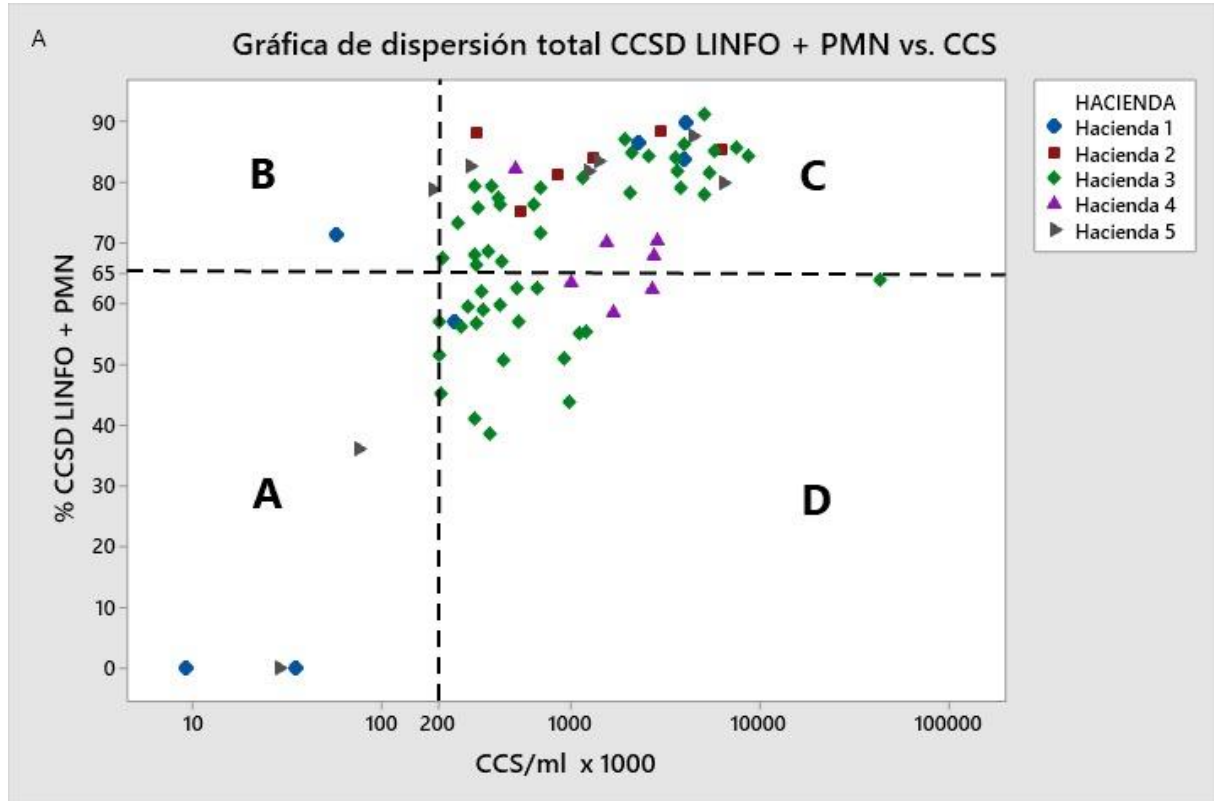
<b>Frecuencia de CCSD de muestras de leche</b>				
<b>Cuadrante</b>	<b>CCSD% - CCS/ml</b>	<b>Número de vacas</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Referencias</b>
A	< 65 - < 200.000	6	7,79%	Saludables
B	> 65 - < 200.000	21	27,27%	Sensibles
C	> 65 - > 200.000	40	51,95%	Mastitis subclínica
D	< 65 - > 200.000	10	12,99%	Mastitis crónica -remoción
<b>Total</b>		<b>77</b>	<b>100%</b>	

**Nota:** Orozco & Santana, (2022) Elaborado por: La autora, 2026

Los resultados obtenidos en la Tabla 2, evidencian una distribución diferenciada de las muestras de leche según los valores de CCSD y CCS, lo que permite determinar el estado sanitario de la glándula mamaria en los bovinos evaluados. Del total de 77 vacas muestreadas, únicamente el 7,79 % se ubicó en el cuadrante A, con valores bajos de CCSD < 65 - < 200.000 células/ml; 27,27% está en el cuadrante B con rangos de > 65 - < 200.000; 51,95% están en el cuadrante C con valores altos de CCSD > 65 - CCS > 200.000; 12,99% se encuentran en el cuadrante D con rangos de < 65 - > 200.000.

### Figura 3

Dispersión de los valores obtenidos de CCS y CCSD en los cuatro cuadrantes para la identificación del tipo de mastitis



Elaborado por: La autora, 2026

De acuerdo con la Figura 3, el cuadrante A concentra el menor número de animales, correspondiente a vacas saludables, esta baja frecuencia se explica porque el estudio estuvo orientado principalmente a la identificación de casos de mastitis, por lo que dicho cuadrante presenta limitada representatividad analítica. En el cuadrante B se agrupan los animales clasificados como sensibles; en el cuadrante C se registra la mayor proporción de casos de mastitis subclínica; mientras que en el cuadrante D se observa un número reducido de vacas con mastitis crónica o en fase de remoción. Estos resultados guardan similitud con lo reportado por Orozco &

Santana,(2022) quienes identificaron una distribución del 20,49 % en el cuadrante B, 42,69 % en el cuadrante C (mastitis subclínica) y 12,30 % en el cuadrante D. De manera comparable, Arias et al., (2024) en estudios realizados en Ecuador, señalaron una prevalencia de 19,9 % de vacas sensibles, 61,5 % con mastitis subclínica y 4,5 % en condición crónica-remoción, lo que confirma el predominio de la mastitis subclínica como principal alteración sanitaria en sistemas lecheros.

### Tabla 3

*Relación entre el conteo de células somáticas en leche y el recuento de leucocitos en sangre según el estado sanitario de la ubre bovina*

<b>Conteo de CCSD (Leche) y Recuento de Leucocitos (Sangre)</b>			
<b>CATEGORÍA</b>	<b>% CCSD LINFO + PMN LECHE</b>	<b>LIN% Linfocito (%) SANGRE</b>	<b>NEU% Neutrófilo (PMN) SANGRE</b>
Saludable	36,30	56,18	33,63
Sensible	75,20	59,40	22,00
Mastitis Subclínica	79,07	50,86	33,95
Crónica Remoción	56,14	51,72	31,84

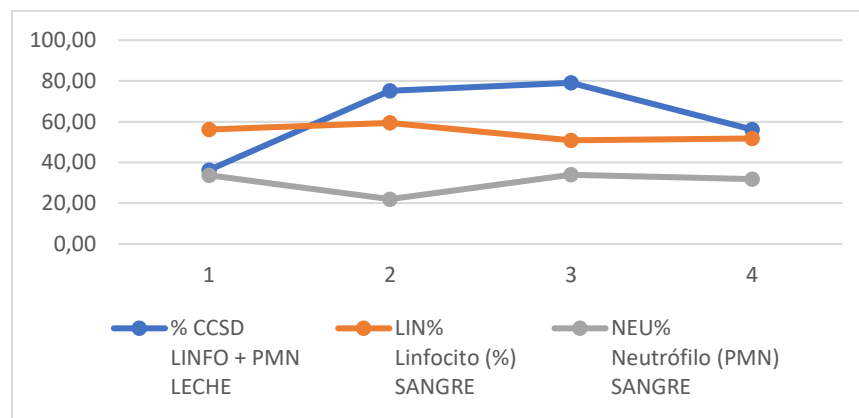
Elaborado por: La autora, 2026

En la Tabla 3, en la categoría saludable, el bajo porcentaje de CCSD en leche (36,30 %) se asocia con una mayor proporción de linfocitos en sangre (56,18 %) y un porcentaje moderado de neutrófilos (33,63 %), lo que refleja un estado inmunológico estable y la ausencia de un proceso inflamatorio activo en la glándula mamaria, condición característica de ubres sanas y bajos recuentos celulares, este comportamiento celular es característico de ubres sanas con bajos recuentos celulares y coincide con la respuesta inmunitaria descrita en bovinos no infectados frente a *Staphylococcus aureus* (Chukken et al., 2003; Andreotti et al., 2017). En la categoría sensible, el

incremento del CCSD en leche (75,20 %) se acompaña de una respuesta leucocitaria con predominio de linfocitos (59,40 %) y una reducción relativa de neutrófilos (22,00 %), lo que sugiere una activación temprana del sistema inmune frente a alteraciones iniciales de la glándula mamaria (Alhussien & Dang, 2018). En la mastitis subclínica, el mayor porcentaje de CCSD observado (79,07 %) coincide con una disminución de linfocitos en sangre (50,86 %) y un aumento de neutrófilos (33,95 %), evidenciando una respuesta inflamatoria más marcada y una mayor participación de la inmunidad innata asociada a la infección mamaria (Chukken et al., 2003; Alhussien et al., 2016). En la categoría crónica-remoción, el porcentaje intermedio de CCSD (56,14 %) se relaciona con valores relativamente equilibrados de linfocitos (51,72 %) y neutrófilos (31,84 %), lo que podría interpretarse como una fase de control o resolución parcial del proceso inflamatorio tras una afectación prolongada (Alhussien & Dang, 2018).

#### Figura 4

*Tendencia entre el CCSD en leche y el recuento de linfocitos y Neutrófilos en sangre según el estado sanitario de la ubre bovina*



Elaborado por: La autora, 2026

La gráfica 4, muestra que en animales con ubres saludables el bajo conteo de células somáticas diferenciales (CCSD) en leche se asocia con una mayor proporción de linfocitos y valores moderados de neutrófilos en sangre, lo que refleja un estado inmunológico estable y la ausencia de inflamación activa en la glándula mamaria. Este patrón es característico de ubres sanas y ha sido descrito como un estado de equilibrio inmunitario, donde la respuesta defensiva se mantiene sin activación inflamatoria significativa (Chukken et al., 2003; Riveros & Obando, 2021).

En las categorías sensible y mastitis subclínica se observa un aumento progresivo del CCSD en leche, acompañado de una disminución relativa de linfocitos y un incremento de neutrófilos en sangre. Esta tendencia indica la activación de la respuesta inmune innata, en la cual los neutrófilos son movilizados desde la circulación sanguínea hacia la glándula mamaria como mecanismo de defensa frente a infecciones intramamarias, elevando el CCSD durante los procesos inflamatorios activos (Alhussien et al., 2016).

En la categoría crónica-remoción, la reducción del CCSD y el equilibrio entre linfocitos y neutrófilos sugieren una fase de control o resolución parcial de la inflamación. Este comportamiento es típico de infecciones prolongadas o en remisión, donde la respuesta inmunitaria se mantiene activa, pero con menor intensidad y el perfil leucocitario tiende a estabilizarse progresivamente (Gomezcoello, 2022).

**Tabla 4**

*Relación entre macrófagos presentes en la leche y monocitos circulantes en sangre en vacas lecheras con diferentes estados de salud mamaria*

<b>Relación entre macrófagos presentes en la leche y monocitos circulantes en sangre</b>		
<b>CATEGORÍA</b>	<b>% CCSD Macrófagos</b>	<b>MON% Monocito (%) SANGRE</b>
Saludable	90,93	5,2
Sensible	24,80	6,85
Mastitis Subclínica	20,92	7,00
Crónica Remoción	43,86	7,72

Elaborado por: La autora, 2026

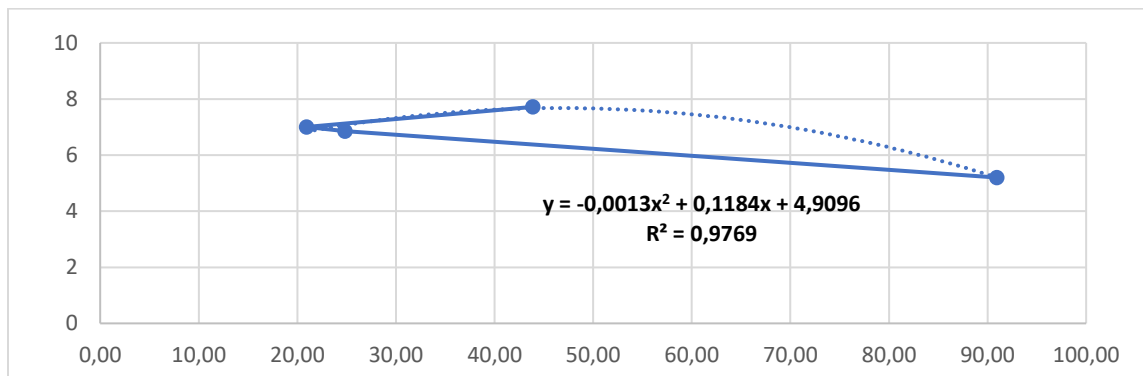
En la tabla 4, la categoría saludable se registra un predominio marcado de macrófagos en la leche (90,93 %) y un bajo porcentaje de monocitos en sangre (5,2 %), lo que refleja un estado de equilibrio inmunológico en la glándula mamaria, donde los macrófagos residentes cumplen funciones de vigilancia y mantenimiento del tejido sin activación inflamatoria sistémica (Lesta et al., 2025; Zemanova et al., 2022). En la categoría sensible, este equilibrio comienza a modificarse, observándose una disminución importante de macrófagos en leche (24,80 %) y un aumento de monocitos circulantes (6,85 %), lo que sugiere una respuesta inmune inicial frente a una posible alteración mamaria y el reclutamiento temprano de células desde la sangre hacia el tejido mamario (Alhussien et al., 2015; Zhang et al., 2023).

En la mastitis subclínica, el porcentaje de macrófagos en leche alcanza su valor más bajo (20,92 %) y los monocitos en sangre se incrementan a 7,00 %, lo que indica una activación más intensa del sistema inmune asociada a un proceso inflamatorio activo (Orekhov et al., 2019; Sun et

al., 2024). En la categoría crónica–remoción se observa un aumento relativo de macrófagos en leche (43,86 %) junto con el valor más alto de monocitos en sangre (7,72 %), lo que sugiere una fase de inflamación prolongada o de resolución parcial, donde los macrófagos adquieren un rol más regulador y reparativo, mientras la respuesta inmune sistémica tiende a estabilizarse tras un periodo prolongado de afectación (Niedziela et al., 2021; Danev et al., 2025).

### Figura 5

*Correlación de macrófagos en leche y monocitos en sangre*



Elaborado por: La autora, 2026

La figura 5, muestra una relación entre la presencia de macrófagos en la leche y la cantidad de monocitos circulantes en sangre, evidenciada por una tendencia polinómica con un coeficiente de determinación alto ( $R^2 = 0,9769$ ). Este valor indica que existe una asociación fuerte entre ambas variables, lo que sugiere que los cambios en los monocitos sanguíneos se reflejan en la población de macrófagos presentes en la glándula mamaria (Prin et al., 2002). Inicialmente se observa un incremento moderado, seguido de una ligera disminución en los valores más altos, lo que podría relacionarse con la dinámica de migración celular y la respuesta inmunitaria local frente a procesos inflamatorios mamarios. En conjunto, los resultados evidencian que el monitoreo de monocitos en

sangre puede aportar información útil sobre la actividad inmunológica en la leche, constituyendo un indicador potencial del estado sanitario de la ubre.

La relación observada entre los macrófagos presentes en la leche y los monocitos circulantes en sangre refleja cambios progresivos del sistema inmunitario según el estado sanitario de la glándula mamaria (Lesta et al., 2025). En condiciones saludables, el predominio de macrófagos en la leche y el bajo porcentaje de monocitos sanguíneos indican un equilibrio inmunológico local, donde estas células cumplen funciones de vigilancia, fagocitosis y mantenimiento del tejido mamario sin activación inflamatoria sistémica (Alhussien et al., 2015; Zhang et al., 2023). Este comportamiento coincide con estudios que describen que, en ubres sanas, la mayoría de las células somáticas corresponden a macrófagos encargados de la defensa basal y la reparación tisular (Alhussien et al., 2015).

A medida que el estado sanitario progresa hacia condiciones sensibles y mastitis subclínica, la disminución de macrófagos en leche junto con el aumento de monocitos en sangre sugiere el reclutamiento de células inmunes desde la circulación hacia la glándula mamaria como respuesta frente a la infección. Este proceso forma parte de la respuesta inmune innata característica de la mastitis, donde la infiltración celular y la activación inflamatoria modifican la composición celular de la leche y del sistema circulatorio (Pereyra et al., 2014).

En la fase crónica-remoción, el incremento relativo de macrófagos en leche acompañado del mayor porcentaje de monocitos en sangre indica una etapa de inflamación prolongada o de resolución parcial, en la que la respuesta inmunitaria se orienta hacia funciones reguladoras y de reparación tisular, por lo tanto, investigaciones recientes sobre mastitis y microbiota mamaria confirman que los cambios celulares e inmunológicos persisten durante la progresión y

recuperación de la enfermedad, evidenciando la interacción dinámica entre infección, inflamación y restauración del tejido mamario (Urrutia et al., 2024).

**Tabla 5***Parámetros celulares en leche y sangre*

<b>Parámetros celulares en leche y sangre según el estado sanitario de la ubre</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>Normal (Saludable)</b>	<b>Sensible</b>	<b>Mastitis Subclínica</b>	<b>Mastitis Clínica</b>	<b>Crónica</b>	<b>Remoción</b>
<b>CCS (cél/mL)</b>	< 100.000	100.000 – 200.000	400.000 – 1.000.000	> 1.000.000	Alto persistente	Variable ↓
<b>Neutrófilos (leche)</b>	< 20 %	↑ leve (20–35 %)	↑ moderado (40–60 %)	↑ alto (70–90 %)	↑ moderado	↓ bajo–moderado
<b>Linfocitos (leche)</b>	20–30 %	↔ / ↑ leve	↓	Variable	↔ / ↓	↑ regulación
<b>Macrófagos (leche)</b>	> 60 %	↓ (25–40 %)	↓ marcado (<25 %)	Muy bajos	↑ relativo	↑ reparación
<b>Signos visibles en ubre</b>	No	No	No	Sí	No evidentes	No evidentes
<b>Leucocitos (sangre)</b>	Normal	↔ / ↑ leve	↑ moderado	↑	↑ leve persistente	↔
<b>Neutrófilos (sangre)</b>	Normal	↔	↑	↑↑ marcado	↑ leve	↔
<b>Linfocitos (sangre)</b>	Normal	↔	↓ (estrés)	↓	↓ leve	↔
<b>Monocitos (sangre)</b>	Normal	↑ leve	↑	↑	↑ persistente	↑ moderado
<b>Fibrinógeno</b>	Normal	↔	↔ / ↑	↑	↑ leve	↔
<b>Proteínas totales</b>	Normal	↔	↔	↑	↑ leve	Variable

Elaborado por: Bonifaz &amp; Pulamarín, 2026

El cuadro evidencia que, en condiciones normales de salud mamaria, el recuento de células somáticas se mantiene bajo ( $< 100\ 000$  cel/mL) y predominan los macrófagos en la leche junto con valores sanguíneos dentro de rangos fisiológicos, lo que refleja equilibrio inmunológico y ausencia de inflamación activa. Este comportamiento coincide con estudios que señalan que un CCS reducido y la presencia dominante de macrófagos residentes caracterizan glándulas mamarias sanas y funcionales (Alhussien et al., 2015; Srithanasuwan et al., 2023).

A medida que el estado sanitario progresa hacia sensibilidad y mastitis subclínica o clínica, se observa un incremento marcado del CCS y de los neutrófilos en leche y sangre, acompañado de la disminución relativa de linfocitos y macrófagos (Alhussien et al., 2015). Esta tendencia indica la activación de la respuesta inmune innata frente a patógenos intramamarios, donde los neutrófilos migran rápidamente al tejido mamario y elevan el conteo celular como mecanismo defensivo, fenómeno ampliamente documentado en la fisiopatología de la mastitis bovina (Chamarro & Igua, 2009; Sharma et al., 2011).

En los estados crónicos y de remoción, el CCS tiende a permanecer elevado o a disminuir de forma variable, mientras los perfiles leucocitarios muestran una estabilización progresiva con aumento relativo de macrófagos asociados a procesos de regulación y reparación tisular (Paaepa et al., 2003). Este patrón concuerda con investigaciones que describen que, tras la fase aguda de la mastitis, la respuesta inflamatoria disminuye gradualmente y las células mononucleares adquieren un papel clave en la resolución y recuperación de la glándula mamaria (Burner et al., 2025).

## 5. CONCLUSIONES

La cuantificación del conteo de células somáticas totales (CCS) y de las células somáticas diferenciales (CCSD) mediante citometría de flujo permitió identificar variaciones claras en el estado sanitario de la glándula mamaria en bovinos del cantón Cayambe y Pedro Moncayo. Los valores bajos de CCS y el predominio de macrófagos se asociaron con ubres sanas, mientras que el incremento del CCS y de neutrófilos evidenció procesos inflamatorios compatibles con mastitis subclínica y clínica, confirmando la utilidad del análisis celular de la leche como indicador temprano de alteraciones mamarias.

El recuento de polimorfonucleares PMN en sangre determinado mediante impedancia y diferenciación química mostró cambios acordes con la respuesta inmunitaria sistémica frente a la infección intramamaria. El aumento de neutrófilos y monocitos en sangre, junto con la disminución relativa de linfocitos en estados inflamatorios, reflejó la activación de la inmunidad innata y su participación en la defensa del tejido mamario.

El análisis conjunto del CCS, CCSD y del recuento de PMN evidenció una correlación biológica consistente entre la respuesta celular en leche y sangre, demostrando su valor diagnóstico para la detección temprana de mastitis bovina. Esta relación confirma que la integración de parámetros hematológicos y citológicos constituye una herramienta confiable para el monitoreo sanitario en sistemas lecheros.

## **6. RECOMENDACIONES**

Implementar de forma rutinaria la determinación del CCS y del CCSD mediante citometría de flujo en las fincas lecheras, como estrategia de diagnóstico temprano y monitoreo continuo de la salud mamaria, permitiendo intervenir oportunamente antes de la aparición de signos clínicos de mastitis.

Complementar la evaluación sanitaria de la ubre con análisis hematológicos periódicos que incluyan el recuento diferencial de leucocitos, especialmente polimorfonucleares y monocitos, con el fin de fortalecer la interpretación del estado inmunológico de los animales y mejorar la toma de decisiones sanitarias.

Promover programas integrales de control de mastitis en el cantón Cayambe y Pedro Moncayo que integren diagnóstico celular temprano, buenas prácticas de ordeño, manejo higiénico y seguimiento veterinario, con el propósito de reducir pérdidas productivas, mejorar la calidad de la leche y fortalecer la sostenibilidad del sistema lechero local.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Agrocalidad. (2018). *Instructivo INT/DA/019. Toma y envío de muestras en animales domésticos* (p. 27). Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario.
- Agrocalidad. (2020). *Instructivo para la toma de muestras de leche cruda y suero de leche* (p. 18). Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario.
- Alhussien, M., & Dang, A. (2018). Milk somatic cells, factors influencing their release, future prospects, and practical utility in dairy animals: An overview. *Veterinary World, 11*(5), 562–577. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.562-577>
- Alhussien, M., Kaur, M., Manjari, P., Kimothi, S., Mohanty, A., & Dang, A. (2015). A comparative study on the blood and milk cell counts of healthy , subclinical , and clinical mastitis Karan Fries cows. *Veterinary World, 8*(5), 685–689. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2015.685-689>
- Alhussien, M., Manjari, P., Sheikh, A., Seman, S., Reddi, S., Mohanty, A., Mukherjee, J., & Dang, A. (2016). Immunological attributes of blood and milk neutrophils isolated from crossbred cows during different physiological conditions. *Czech Journal of Animal Science, 61*(5), 223–231. <https://doi.org/10.17221/63/2015-CJAS>
- Alvear, D., Guerrero, J., Bonifaz, N., & Noriega, P. (2021). Calidad composicional y concentración de ácidos grasos omega 3 (alfa-linolénico) y omega 6 (linoleico) presentes en leche bovina de tres regiones naturales del Ecuador. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 68*(2), 150–169. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v68n2.98027>
- Andreotti, C., Baravalle, C., Sacco, S., Lovato, M., Pereyra, E., Renna, M., Ortega, H., & Calvino, L. (2017). Comparative Immunology , Microbiology and Infectious Diseases Characterization of immune response in *Staphylococcus aureus* chronically infected bovine mammary glands during active involution. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases, 54*, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2017.08.005>
- Arias, C., Bonifaz, N., Simbaña, P., & Argüello, A. (2024). Compositional , hygienic and

- sanitary quality of bovine milk in three regions of Ecuador. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 72(1), 1–18.  
<https://doi.org/10.15446/rfmvz.v72n1.114348> Investigación
- Ballesteros, J., & Valdivieso, A. (2018). *Estudio de la problemática epidemiológica de la mastitis bovina en el Cantón Cayambe*. Trabajo de titulación de grado - Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- Bedolla, C., Domínguez, R., Velázquez, V., Valladares, B., & Gómez, A. (2022). Importância da contagem de células somáticas na determinação da saúde do úbere e da qualidade do leite rinde. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 104–123.  
<https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-009>
- Bisutti, V., Vanzin, A., Toscano, A., Pegolo, S., Giannuzzi, D., Tagliapietra, F., Schiavon, S., Gallo, L., Trevisi, E., Negrini, R., & Cecchinato, A. (2022). Impact of somatic cell count combined with differential somatic cell count on milk protein fractions in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 105(8), 6447–6459. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22071>
- Bobbo, T., Penasa, M., & Cassandro, M. (2020). Combining total and differential somatic cell count to better assess the association of udder health status with milk yield, composition and coagulation properties in cattle. *Italian Journal of Animal Science*, 19(2), 697–703.  
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1784804>
- Bochniarz, M., Hahaj, A., Krajewska, M., Osińska, M., Tracz, A., Trościańczyk, A., Brodzki, P., Krakowski, L., Kosior, U., & Nowakiewicz, A. (2024). Cytokine inflammatory response in dairy cows with mastitis caused by *Streptococcus agalactiae*. *Journal of Veterinary Research*, 68(1), 115–121. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2024-0002>
- Bonifaz, N., & Conlago, 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 Revista de Ciencias de La Vida*, 24(2), 43–52.  
<https://doi.org/10.17163/lgr.n24.2016.04>
- Bonifaz, N., Galarza, X., Fuertes, B., & Beltrán, J. (2024). Determinación molecular del agente

- etiológico de la mastitis bovina de las muestras provenientes de unidades productoras Andinas. *La Granja Revista de Ciencias de La Vida*, 39(1), 137–149.  
<https://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.08>
- Burner, C., Callaway, T., & Ryman, V. (2025). Graduate student literature review : utilization of differential somatic cell count in the detection and management of mastitis. *Journal of Dairy Science*, 108(12), 13621–13630. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26945>
- Chamarro, G., & Igua, L. (2009). *Determinación del recuento de células somáticas en la leche de hembras clasificadas genéticamente como bovinos elite, para incorporar este criterio en los índices de selección del trópico alto de Nariño*. Trabajo de titulación - Universidad de Nariño facultad de ciencias pecuarias programa de zootecnia.
- Chukken, Y., Wilson, D., Welcome, F., Garrison, L., & Gonzalez, R. (2003). Review article monitoring udder health and milk quality using somatic cell counts. *Veterinary Research*, 34(5), 579–596. <https://doi.org/10.1051/vetres>
- Damm, M., Holm, C., Blaabjerg, M., Bro, M., & Schwarz, D. (2017). Differential somatic cell count a novel method for routine mastitis screening in the frame of dairy herd Improvement testing programs. *Journal of Dairy Science*, 100(6), 4926–4940.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2016-12409>
- Danev, N., Harman, R., Sipka, A., Oliveira, L., Huntimer, L., & Van, G. (2025). The secretomes of bovine mammary epithelial cell subpopulations differentially modulate macrophage function. *Veterinary Quarterly*, 45(1), 1–14.  
<https://doi.org/10.1080/01652176.2025.2463338>
- De la Cruz, E. (2011). *Correlación de los métodos california mastitis test (CMT), conductividad eléctrica (CE) y conteo de células somáticas (CCS) en el laboratorio de calidad de leche de la UPS*. Tesis de grado - Universidad Politécnica Salesiana.
- Deng, Z., Hogeveen, H., Lam, T., van der Tol, R., & Koop, G. (2020). Performance of online somatic cell count estimation in automatic milking systems. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00221>

- Du, C., Zhao, X., Zhang, S., Chu, C., Zhang, X., & Teng, Z. (2024). Milk metabolite profiling of dairy cows as influenced by mastitis. *Frontiers in Veterinary Science*, *11*, 1–12.  
<https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1475397>
- Egyedy, A., Rosales, E., & Ametaj, B. (2022). Association of high somatic cell counts prior to dry off to the incidence of periparturient diseases in holstein dairy cows. *Veterinary Sciences*, *9*(11), 1–21. <https://doi.org/10.3390/vetsci9110624>
- Fadillah, A., van den Borne, B., Poetri, O., Hogeveen, H., Slijper, T., Pisestyani, H., & Schukken, Y. (2023). Evaluation of factors associated with bulk milk somatic cell count and total plate count in Indonesian smallholder dairy farms. *Frontiers in Veterinary Science*, *10*, 1–10.  
<https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1280264>
- FAO, & IDF. (2004). *Guía de buenas prácticas en explotaciones lecheras*. 1–38.
- Fonseca, M., Kurban, D., Roy, J., Santschi, D., Molgat, E., Yang, D., & Dufour, S. (2025). Usefulness of differential somatic cell count for udder health monitoring: Identifying referential values for differential somatic cell count in healthy quarters and quarters with subclinical mastitis. *Journal of Dairy Science*, *108*(4), 3917–3928.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2024-25403>
- Garzón, V., & Rivera, J. (2024). *Efectividad de dos pruebas diagnósticas para mastitis clínica y subclínica e identificación de bacterias, en cinco fincas de la cooperativa Nicacentro, Rio blanco, Matagalpa 2024*. Universidad Nacional Agraria Dirección Específica De Ciencia Animal.
- Gomez, J., & Ponce, T. (2024). *Determinación de la calidad sanitaria de la leche bovina proveniente de haciendas de la zona norte de Pichincha*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Gomezcoello, L. (2022). *Prevalencia de la mastitis mediante el recuento de células somáticas en bovinos de producción láctea*. [Universidad POLitécnica Salesiana].  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23969>
- Halasa, T., & Kirkeby, C. (2020). Differential Somatic Cell Count: Value for Udder Health Management. *Frontiers in Veterinary Science*, *7*, 1–7.

<https://doi.org/10.3389/fvets.2020.609055>

Huang, C., & Kusaba, N. (2022). Association between differential somatic cell count and california mastitis test results in Holstein cattle. *JDS Communications*, 3(6), 441–445.

<https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0249>

Jacobsen, L., Niesen, A., Lucey, P., & Rossow, H. (2023). Evaluation of cow side meters to determine somatic cell count in individual cow quarter and bulk tank milk samples. *Animals*, 13(13), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ani13132169>

Jiang, L., Sun, H., Gu, F., He, J., Zhao, F., & Liu, J. (2022). Blood neutrophil extracellular traps: a novel target for the assessment of mammary health in transition dairy cows. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00782-4>

Khasapane, N., Byaruhanga, C., Thekiso, O., Nkhebenyane, S., & Khumalo, Z. (2023). Prevalence of subclinical mastitis, its associated bacterial isolates and risk factors among cattle in Africa: a systematic review and meta-analysis. *BMC Veterinary Research*, 19(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12917-023-03673-6>

Lakshmi, R., Vijayakaran, K., Kaarthick, D., Ramkumar, P., Karthika, K., Saravanan, M., Arunmozhi, N., & Vijayarajan, A. (2024). Haematological and metabolic profile Test of Subclinical mastitis affected cross bred cattle. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, 15(2), 1–7. <https://doi.org/10.23910/1.2024.5044>

Lesta, A., Marín, P., & Llobat, L. (2025). A comprehensive review of the bovine immune response to pathogens. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(17), 1–34.

López, A., & Mendoza, E. (2022). *Grado de mastitis bovina y su correlación con el conteo de células somáticas diferenciadas en unidades productivas de la sierra norte de la provincia de Pichincha*. Tesis de grado - Universidad Politécnica Salesiana.

López, M., Ramos, A., & Muñoz, L. (2022). Diagnóstico de la mastitis bovina. *BIOCIENCIAS*, 6(1), 93–115.

Moctezuma, C., Pineda, J., Figueroa, D., Macedo, R., & García, J. (2025). Conteo de células

- somáticas en leche producida en hatos bovinos doble propósito de la región costera del estado de Colima, México. *Ciencias Veterinarias y Producción Animal*, 2(2), 5–10.  
<https://doi.org/10.29059/cvpa.v2i2.25>
- Niedziela, D., Cormican, P., Foucras, G., Leonard, F., & Keane, O. (2021). Bovine milk somatic cell transcriptomic response to *Staphylococcus aureus* is dependent on strain genotype. *BMC Genomics*, 22(1), 1–20.
- Orekhov, A., Orekhova, V., Nikiforov, N., Myasoedova, V., Andrey, V., Romanenko, E., Zhang, D., & Chistiakov, D. (2019). Monocyte differentiation and macrophage polarization. *Vessel Plus*, 3, 1–20. <https://doi.org/10.20517/2574-1209.2019.04>
- Orozco, M., & Santana, D. (2022). *Grado de mastitis bovina y su correlación con el conteo de células somáticas diferenciadas y el agente etiológico causante de la enfermedad*. Tesis de grado - Universidad Politécnica Salesiana.
- Paapea, M., Bannerman, D., Zhao, X., & Lee, J. (2003). Review article The bovine neutrophil : Structure and function in blood and milk. *Veterinary Research*, 34(5), 597–627.  
<https://doi.org/10.1051/vetres>
- Pakrashi, A., Ryan, C., Guéret, C., Berry, D., Corcoran, M., Keane, M., & Mac Namee, B. (2023). Early detection of subclinical mastitis in lactating dairy cows using cow level features. *Journal of Dairy Science*, 106(7), 4978–4990. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22803>
- Patiño, P., & Garcia, D. (1991). Fisiología de los polimorfonucleares neutrófilos. *Latreia*, 4(2), 81–87.
- Pegolo, S., Giannuzzi, D., Piccioli-Cappelli, F., Cattaneo, L., Giancesella, M., Ruegg, P. L., Trevisi, E., & Cecchinato, A. (2023). Blood biochemical changes upon subclinical intramammary infection and inflammation in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 106(9), 6539–6550. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-23155>
- Pereyra, E., Dallard, B., & Calvino, L. (2014). *Aspectos de la respuesta inmune innata en las infecciones intramamarias causadas por Staphylococcus aureus en bovinos*. 46(4), 363–375.

- Prin, C., Le, R., Faure, C., Laurent, F., Béné, M., & Moussaoui, F. (2002). Enzymatic Activities of Bovine Peripheral Blood Leukocytes and Milk Polymorphonuclear Neutrophils during Intramammary Inflammation Caused by Lipopolysaccharide. *Clinical and Vaccine Immunology*, 9(4), 812–817. <https://doi.org/10.1128/CDLI.9.4.812>
- Rambault, M., Gilbert, F., Roussel, P., Tessier, A., David, V., Germon, P., Winter, N., & Remot, A. (2023). Neutrophils expressing major histocompatibility complex class II molecules circulate in blood and milk during mastitis and show high microbicidal activity. *Journal of Dairy Science*, 106(6), 4245–4256. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22728>
- Ramuada, M., Tyasi, T., Gumede, L., & Chitura, T. (2024). A practical guide to diagnosing bovine mastitis: a review. *Frontiers in Animal Science*, 5, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1504873>
- Riveros, D., & Obando, M. (2021). Mastitis, somatic cell count, and its impact on the quality of dairy-products ... An omission in Colombia?: A review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 34(4), 241–253.
- Rochmah, E., Raharjo, D., Hidanah, S., Effendi, M., Witaningrum, A., & Warsito, S. (2023). Effectiveness of the california mastitis test (CMT), reductase test, and alcohol test for dairy cows subclinical mastitis detection. *Jurnal Agro Veteriner (Agrovet)*, 7(1), 22–18. <https://doi.org/10.20473/agrovet.v7i1.51443>
- Rojas, E., Magaña, C., & Herrera, M. (2024). ¿Los neutrófilos como células de defensa? Inmunobiología y fisiopatología en las enfermedades infecciosas respiratorias humanas. *Neumología y Cirugía de Tórax*, 82(3), 162–173. <https://doi.org/10.35366/116815>
- Ruegg, P., & Pantoja, J. (2013). Understanding and using somatic cell counts to improve milk quality. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 52(2), 101–117.
- Schwarz, D. (2017). *Differential somatic cell count with the fossomatic 7 DC a novel parameter* (p. 6).
- Schwarz, D., Santschi, D., Durocher, J., & Lefebvre, D. (2020). Evaluation of the new differential somatic cell count parameter as a rapid and inexpensive supplementary tool for

- udder health management through regular milk recording. *Preventive Veterinary Medicine*, *181*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105079>
- Sharma, N., Singh, N., & Bhadwal, M. (2011). Relationship of somatic cell count and mastitis : an overview. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *24*(3), 429–438.
- Smistad, M., Inglingstad, R., Sølverød, L., Skeie, S., & Hansen, B. (2024). Somatic cell count in dairy goats I: association with infectious and non-infectious factors. *BMC Veterinary Research*, *20*, 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04348-6>
- Smith, G., Constable, P., & Morin, D. (2001). Ability of hematologic and serum biochemical variables to differentiate gram-negative and gram-positive mastitis in dairy cows. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, *15*(4), 394–400.
- Srithanasuwan, A., Pangprasit, N., Mektrirat, R., Suriyasathaporn, W., & Chuammitri, P. (2024). Divergent immune responses to minor bovine mastitis causing pathogens. *Veterinary Sciences*, *11*(6), 1–16. <https://doi.org/10.3390/vetsci11060262>
- Srithanasuwan, A., Tata, L., Tananupak, W., Jaraja, W., Suriyasathaporn, W., & Chuammitri, P. (2023). Exploring the distinct immunological reactions of bovine neutrophils towards major and minor pathogens responsible for mastitis. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, *11*(1), 106–120. <https://doi.org/10.1080/23144599.2023.2262250>
- Su, Y., Liu, S., Long, C., Zhou, Z., Zhou, Y., & Tang, J. (2024). The cross-talk between B cells and macrophages Yahui. *International Immunopharmacology*, *143*, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2024.113463>
- Sun, X., Gao, S., Chang, R., Jia, H., Xu, Q., Mauck, J., Looor, J., Li, X., & Xu, C. (2024). Fatty acids promote M1 polarization of monocyte-derived macrophages in healthy or ketotic dairy cows and a bovine macrophage cell line by impairing mTOR-mediated autophagy. *Journal of Dairy Science*, *107*(9), 7423–7434. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24357>
- Tomes, A., Archer, N., & Leigh, J. (2024). Reproducible isolation of bovine mammary macrophages for analysis of host pathogen interactions. *BMC Veterinary Research*, *20*(1), 1–11.

- Tommasoni, C., Fiore, E., Lisuzzo, A., & Giancesella, M. (2023). Mastitis in Dairy Cattle: On-Farm Diagnostics and Future Perspectives. *Animals*, *13*(15), 1–15.  
<https://doi.org/10.3390/ani13152538>
- Urrutia, L., Ocejo, M., Oporto, B., Aduriz, G., Lavín, J., & Hurtado, A. (2024). Unravelling the complexity of bovine milk microbiome : insights into mastitis through enterotyping using full - length 16S - metabarcoding. *Animal Microbiome*, *6*(1), 1–14.  
<https://doi.org/10.1186/s42523-024-00345-0>
- Xie, L., Malledevarahalli, S., Gonzalez, S., Sadeghi, H., Karis, P., Rashid, M., Niazi, M., Fan, Y., Qiao, K., Dong, Q., Ricci, A., Opsomer, G., & Bogado, O. (2025). Functional and transcriptomic profiling of bovine circulating neutrophils during in vitro lipopolysaccharide challenge across different energetic states. *Journal of Dairy Science*.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2025-26711>
- Zecconi, A., Dell'orco, F., Vairani, D., Rizzi, N., Cipolla, M., & Zanini, L. (2020). Differential somatic cell count as a marker for changes of milk composition in cows with very low somatic cell count. *Animals*, *10*(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ani10040604>
- Zemanova, M., Langova, L., Novotná, I., Dvorakova, P., Vrtkova, I., & Havlicek, Z. (2022). Immune mechanisms, resistance genes , and their roles in the prevention of mastitis in dairy cows. *Archives Animal Breeding*, *65*(4), 371–384.
- Zhang, Z., Yao, Y., Yang, J., Jiang, H., Meng, Y., Cao, W., Zhou, F., Wang, K., Yang, Z., Yang, C., Sun, J., & Yang, Y. (2023). Assessment of adaptive immune responses of dairy cows with *Burkholderia contaminans* -induced mastitis. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1–15.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1099623>
- Zoetis. (2018). *VETSCAN® HM5. Analizador Hematológico. Manual del Usuario* (p. 156).

## 8. ANEXOS

### Anexo 1

*Prueba de CTM por vaca*



**Elaborado por:** La autora ,2026

## Anexo 2

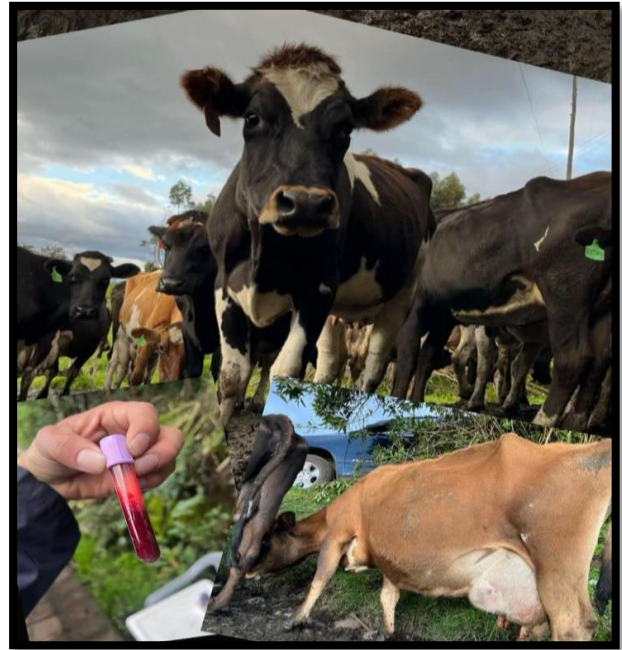
*Limpieza, identificación y codificación de los frascos recolectores de leche, los cuales fueron posteriormente trasladados al Laboratorio de Calidad de Leche de la UPS para el respectivo análisis.*



**Elaborado por:** La autora, 2026.

### Anexo 3

#### *Toma de muestras de sangre*



Elaborado por: La autora, 2026.

#### Anexo 4

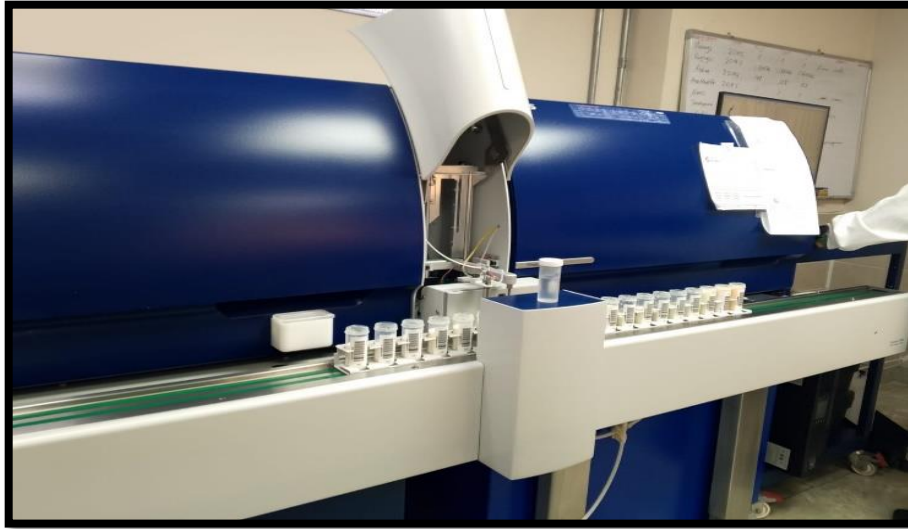
*Muestras de sangre recolectadas que fueron trasladados al Laboratorio de Calidad de Leche para su respectivo análisis.*



**Elaborado por:** La autora, 2026.

## Anexo 5

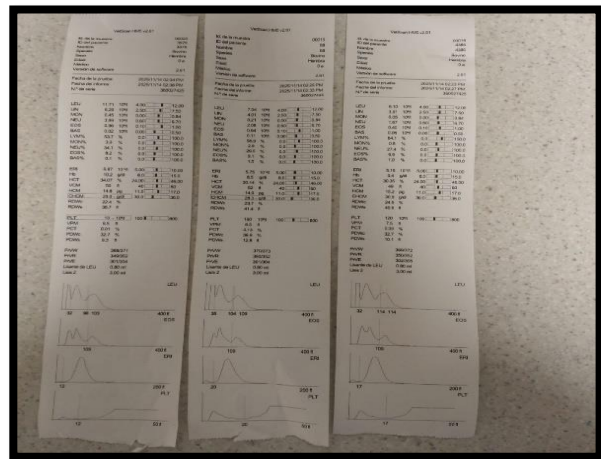
*Muestras de leche en el laboratorio para el análisis de CCS Y CCSD*



**Elaborado por:** La autora ,2026

## Anexo 6

### Procesamiento de las muestras de sangre en el laboratorio



Elaborado por: La autora ,2026