

Parámetros productivos e higiénico-sanitarios en bovinos y su relación en la calidad fisicoquímica y microbiológica láctea

Productive and hygienic-sanitary parameters in cattle and their impact on the physicochemical and microbiological quality of milk

Granados-Hernández Silvia Nahia¹, Guerrero-Mosqueda Viridiana², Bueno-Esparza Luz del Carmen¹, Rojas-González Servando¹, Rodríguez-Hernández Gabriela^{2*}

¹ Departamento de Medicina Veterinaria y Zootecnia, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato.

² Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato.
gabriela.rodriguez@ugto.mx

*Autor de correspondencia

Resumen

La leche es la secreción natural de las glándulas mamarias sanas, excluyendo el calostro, su calidad debe garantizar la inocuidad para su consumo. El objetivo del presente trabajo fue correlacionar variables productivas e higiénico-sanitarias en bovinos, con la calidad láctea fisicoquímica y microbiológica, para lo cual, se recolectaron muestras de leche de cada glándula mamaria en tres vacas de la raza Holstein, de la unidad de producción pecuaria de la División de Ciencias de la Vida de la Universidad de Guanajuato (DICIVA). Se les realizó un examen físico general a las vacas, y a su leche, se les efectuó también prueba de California, conteo de células somáticas con tinción de azul de metileno, así como un análisis fisicoquímico y microbiológico para bacterias mesófilas aerobias y hongos. Los resultados mostraron que, aun cuando las vacas analizadas fueron longevas, los parámetros fisiológicos y de calidad fisicoquímica láctea, aunque presentaron diferencias significativas cumplieron con los requerimientos esperados; por otra parte, para la cuantificación de hongos y bacterias en leche, algunas muestras excedieron los rangos permitidos acorde a lo estipulado por las normas oficiales correspondientes. Adicionalmente, se encontraron correlaciones altas y directas entre el conteo de células somáticas, bacterias mesófilas aerobias y hongos, así como también de éstos últimos con el pH.

Palabras clave: leche, mastitis, análisis, calidad.

Introducción

En 2018, México ocupó el octavo lugar a nivel mundial en producción de leche; este sector aporta el 24% del Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario ya que representa un producto básico para la alimentación (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). La Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, define la leche como la secreción natural de las glándulas mamarias de vacas sanas o cualquier otra especie animal, excluyendo el calostro. Así como también, regula su calidad fisicoquímica y microbiológica como un factor importante para garantizar la inocuidad del producto. En este sentido, los factores higiénico-sanitarios relacionados con la limpieza del equipo, la salud del animal y las buenas prácticas de ordeño, son determinantes en la calidad presente en el producto. Dentro de la microbiota, se pueden identificar microorganismos benéficos (como bacterias lácticas) y patógenos (causantes de infecciones y deterioro en la calidad de la leche). Un problema frecuente en el ganado lechero, es la mastitis, que es una enfermedad compleja y altamente prevalente, definida como la inflamación de las glándulas mamarias y sus tejidos secretores, disminuyendo la producción de leche, alterando sus características sensoriales y fisicoquímicas. La mastitis es causada por infecciones microbianas favorecidas por traumatismos o irritaciones en la glándula mamaria facilitando su entrada (Gasque-Gómez, 2015). Para el diagnóstico de mastitis, se pueden realizar pruebas rápidas, como la prueba mastitis de California, que es la más empleada, o el conteo de células somáticas (mezcla de células epiteliales e inmunitarias), las cuales varían acorde a factores como la edad, estado fisiológico, raza, prácticas de manejo, entre otros. Un recuento bajo de células somáticas indica una mejor calidad de la leche (Alhussien & Dang, 2018; Fuentes-Cabrera *et al.*, 2019); ya que el incremento de

dichas células indica infección, pues lidian con la enfermedad (Falfan-Araujo *et al.*, 2024). El objetivo del presente trabajo fue correlacionar las variables productivas e higiénico-sanitarias en bovinos, con la calidad láctea fisicoquímica y microbiológica.

Metodología

Se recolectaron muestras de leche de vacas (*Bos taurus*) de la raza Holstein, las cuales son identificadas con los números de arete 011, 087, y 269, en la unidad de producción lechera de la DICIVA, ubicada en la comunidad del Copal, en la ciudad de Irapuato, Guanajuato. Las muestras se recolectaron por medio de ordeño manual y se sometieron a diversos análisis para evaluar su calidad fisicoquímica y microbiológica.

Diagnóstico médico y evaluación clínica

Se realizó un examen físico general a cada vaca. Para ello, se registraron parámetros fisiológicos. comenzando por las temperaturas corporales, utilizando un termómetro clínico veterinario, por vía rectal durante aproximadamente 1 a 2 minutos. De acuerdo con Radostits *et al.* (2007), el rango normal de temperatura en bovinos adultos es de 38.5 a 39.5 °C; valores inferiores o superiores a este intervalo indican que la vaca podría encontrarse en procesos de enfermedad, lo cual puede afectar su producción de leche. La toma de frecuencias cardíacas y respiratorias se realizó con un estetoscopio. Para la frecuencia cardíaca, se colocó la campana del estetoscopio en la región torácica izquierda (detrás del codo), contando los latidos durante un minuto. El rango normal en vacas adultas, según Radostits *et al.* (2007), es de 48 a 84 latidos por minuto. En el caso de la frecuencia respiratoria, se contabilizaron los movimientos respiratorios (inhalación y exhalación) durante un minuto, siendo el rango normal de 26 a 50 respiraciones por minuto. El peso corporal se estimó mediante una cinta torácica, tomando la circunferencia al nivel del corazón y aplicando la fórmula de Schaeffer: $\text{Peso (kg)} = ((\text{circunferencia torácica (cm)})^2 \times \text{longitud corporal (cm)}) / (10850)$. Por último, se calculó su edad mediante la revisión de la dentadura, considerando el patrón de erupción y desgaste dental, y comparándolo con imágenes y tablas de referencia.

Recolección de las Muestras

El lavado de las ubres se realizó con agua masajeando cada glándula de arriba hacia abajo para retirar materia orgánica, posteriormente se secó con toallas de papel, se desinfectó con solución yodada (2.5%), retirando el exceso de solución y secando nuevamente, para iniciar el despunte y la toma de muestra. Esto les permitió descartar posibles residuos y obtener una muestra sin residuos orgánicos. Se utilizaron frascos de 60 mL, limpios y previamente identificados con sus etiquetas correspondientes. El ordeño de las tres vacas se realizó por cada glándula mamaria o cuarto, los cuales se dividen en: dos cuartos posteriores (izquierdo y derecho) y dos anteriores (izquierdo y derecho) y se realizaron dos réplicas de cada ordeño, es decir se contó con 24 unidades experimentales, las cuales, para cada variable, se analizaron por duplicado.

Análisis Fisicoquímicos

La leche de cada vaca se analizó utilizando el equipo Lactoscan (Milk Analyzer), previamente calibrado. De cada muestra se tomaron aproximadamente 10 mL de leche para su análisis. Los parámetros evaluados fueron grasa, sólidos no grasos, densidad, lactosa, proteína, sólidos totales, agua adicionada, temperatura, punto de congelación, conductividad y pH.

Análisis Microbiológicos

Los análisis microbiológicos se realizaron conforme a las siguientes normas oficiales mexicanas: NOM-092-SSA1-1994, para la determinación de bacterias mesófilas aerobias; y NOM-111-SSA1-1994, para la cuantificación de mohos y levaduras. Primeramente, se realizó una esterilización del material, de acuerdo con la NOM-110-SSA1-1994, para después pasarlo a la campana de flujo laminar, previamente desinfectada con solución de cloro y luz ultravioleta, con el fin de minimizar el riesgo de contaminación. Después, se tomaron 5 ml de leche de las diferentes vacas y se mezclaron con 45 ml de buffer fosfato, concluyendo con tres diluciones seriadas en proporciones de 1:10, 1:100 y 1:1000. Enseguida, se prepararon los medios selectivos, de acuerdo con las instrucciones de su empaque. Para el agar papa dextrosa (PDA), utilizado para el crecimiento de hongos, se emplearon 31.2 g de medio en 850 mL de agua destilada. Para el medio de cuenta estándar, destinado al cultivo de bacterias mesófilas aerobias, se disolvieron 18.8 g del medio en 850 mL de

agua destilada. Ambos medios fueron clarificados durante 3 a 5 minutos y posteriormente esterilizados en autoclave a 121 °C durante 15 minutos. Las diluciones preparadas se inocularon por triplicado en sus respectivos medios de cultivo. Las placas se incubaron a 36 °C durante 48 horas para el recuento de bacterias y a 25 °C durante 5 días para hongos. Finalmente, se realizó el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC), con lo cual se estimó la concentración microbiana presente en cada muestra de leche.

Conteo de Células Somáticas

El conteo de células somáticas se realizó acorde a la metodología de Caggiano & DeSimone (2017) y Ruegg (2017), para el cual las muestras de leche fueron diluidas en proporción 1:1.25 con colorante azul de metileno, por tanto, se depositaron 20 µL de la mezcla sobre portaobjetos limpios con cubreobjetos. El conteo se realizó por duplicado para cada muestra con un microscopio óptico (Leica DM500) con el objetivo de 40x. Un recuento de células somáticas aceptable es inferior a 200,000 células/mL y valores superiores a 400,000 células/mL se asocian con presencia de mastitis subclínica o clínica.

Prueba de California para Mastitis (CMT)

Se tomaron 2 mL de leche de cada cuarto, los cuales se colocaron en los compartimentos correspondientes de la paleta de prueba. A cada compartimento se añadió el reactivo de California (púrpura de bromocresol) en proporción 1:1 (2 mL de leche + 2 mL de reactivo). Las muestras se mezclaron mediante movimientos circulares durante 20 segundos. La interpretación se realizó con base en la viscosidad observada: negativo, sin cambios en la consistencia; posible infección, leve espesamiento que se disipa con el movimiento; infección leve, formación moderada de gel con ligera persistencia y, finalmente, una infección severa, gel denso y estable que permanece pese al movimiento (Perrin *et al.*, 1997).

Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó con el software SAS (versión 9.0 de 2002), utilizando el procedimiento GLM (Modelo Lineal General) para evaluar las diferencias entre medias mediante la prueba de Tukey, aplicada a cada una de las variables analizadas. Además, se empleó el procedimiento CORR para calcular la correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas, microbiológicas y el conteo de células somáticas.

Resultados

Diagnóstico médico y evaluación clínica

De acuerdo con el examen físico general realizado a las tres vacas (Tabla 1), en comparación con los parámetros de Radostits *et al.* (2007), se observan mínimas diferencias en temperatura (T °C), no resulta ser una complicación debido a un signo de enfermedad o infección, sino, está más relacionado con las inclemencias ambientales de la zona. La condición corporal (CC), ideal en vacas de 100 a 120 días de lactación debe registrar de 2.5 a 3.5 en una escala de 5 (López, 2006); por lo tanto, las tres vacas monitoreadas, se encuentran dentro de la escala de CC adecuada. Respecto a la longevidad, Dallago *et al.* (2021), menciona que una vaca madura tiene una producción de leche mayor que una joven. Marini (2024), habla sobre la capacidad de las vacas lecheras de vivir hasta 20 años sin intervención humana, pero con un tiempo promedio que oscila entre 4.5 y 5.5 años (2.5 ó 3.5 lactancias). Aunque las vacas lecheras pueden vivir más de 10 lactancias, su vida productiva promedio es de solo 3 ó 4 lactancias, y disminuye en la 5ª y 6ª lactancia (Eşki & Kurt, 2021). Por lo tanto, la producción de leche y su calidad, junto con la longevidad, están inversamente relacionadas; al superar el promedio de vida, muestran valores más elevados (por cuartos ó glándula mamaria). Como se observa en la Tabla 2, en el porcentaje de grasa (GRA), proteína (PRO), sólidos no grasos (SNG) y lactosa (LAC), la producción en relación con el número de lactancias también se encuentra disminuida, siendo la vaca 087 la que tiene mayor número de lactancias y menor producción de leche, de acuerdo con la literatura citada.

Tabla 1. Constantes fisiológicas de las vacas 011, 087 y 269.

VACA	FC (lpm)	FR (rpm)	T (°C)	CC	PESO (kg)	EDAD (años)
011	52	32	35.2	3/5	487	6
087	56	36	37.7	2.5/5	414	13
269	56	28	37.2	3.5/5	560	8

Las siglas indican: frecuencia cardíaca (FC), latidos por minuto (lpm), frecuencia respiratoria (FR), respiraciones por minuto (rpm), temperatura en grados Celsius (T °C) y condición corporal (CC).

Análisis Físicoquímicos

Se obtuvieron diferencias significativas en la leche obtenida de las vacas (Tabla 2), en los parámetros de lactosa (LAC), y pH. De acuerdo con la NOM-155-SCFI-2012, en general, las muestras de leche se apegan a los lineamientos físicoquímicos establecidos, obteniendo ligeras diferencias en sólidos no grasos (SNG), ya que la norma dictamina un rango mínimo del 8.3 %, y las tres vacas lo superan, teniendo la vaca número 269 el mayor contenido de SNG. En lo que respecta a (LAC), la norma establece un rango entre 4.3 y 5.2 %, siendo la diferencia más alta con la vaca 269, que presenta un valor de 5.03 ± 0.37 %; sin embargo, aún entra dentro de los parámetros establecidos. En general, la leche cruda presenta un pH cercano a la neutralidad, siendo débilmente ácida, con un valor entre 6.5 y 6.7, variando su composición acorde a múltiples factores como el animal, la etapa de lactancia, alimentación o el ambiente (Rodríguez *et al.*, 2015), la leche de las vacas 011 y 087 se encuentra ligeramente por debajo de este parámetro.

Tabla 2. Parámetros físicoquímicos de muestras de leche por vaca.

VARIABLES	VACA 11	VACA 87	VACA 269
GRA (%)	2.82 ± 0.37^A	2.83 ± 0.4^A	2.71 ± 0.4^A
SNG (%)	8.87 ± 0.38^A	8.85 ± 0.45^A	9.15 ± 0.67^A
DEN (%)	1.03 ± 0.0^A	1.03 ± 0.0^A	1.03 ± 0.0^A
LAC (%)	4.65 ± 0.24^B	4.78 ± 3.22^B	5.03 ± 0.37^A
PRO (%)	3.26 ± 0.14^A	3.22 ± 0.16^A	3.35 ± 0.24^A
ST (%)	11.32 ± 0.85^A	11.85 ± 1.13^A	11.69 ± 1.03^A
ADD (g/L)	0.0 ± 0.0^A	0.0 ± 0.0^A	0.0 ± 0.0^A
PC (°C)	-0.56 ± 0.03^A	-0.57 ± 0.04^A	-0.57 ± 0.04^A
TEMP (°C)	24.08 ± 0.64^A	24.06 ± 0.3^A	23.14 ± 1.90^A
pH	6.42 ± 0.07^B	6.30 ± 0.13^C	6.59 ± 0.09^A
CND (mS/cm)	5.0 ± 0.12^A	4.99 ± 0.07^A	5.12 ± 0.3^A

Las siglas indican: grasa (GRA), sólidos no grasos (SNG), densidad (DEN), lactosa (LAC), proteína (PRO), sólidos totales (ST), agua adicionada (ADD), punto de congelación (PC), temperatura (TEMP), pH y conductividad eléctrica (CND). Las mediciones se realizaron en cada cuarto mamario: CPI (cuarto posterior izquierdo), CAI (cuarto anterior izquierdo), CPD (cuarto posterior derecho) y CAD (cuarto anterior derecho). Los valores se expresan como promedio \pm desviación estándar. Letras distintas (A, B, C) indican diferencias significativas entre muestras ($p < 0.05$). Letras iguales indican sin diferencias significativas entre muestras ($p > 0.05$).

Se observaron diferencias entre la leche producida por los diferentes cuartos de las vacas (Tabla 3); los parámetros a destacar fueron en grasa (GRA), donde el valor se ve incrementado en el cuarto anterior derecho (CAD), con un valor de 3.14 ± 0.07 %; si bien entran en los parámetros establecidos por la NOM-155-SCFI-2012 (grasa 3.0 % mín.), se puede decir que es una diferencia que resalta, puesto que es el único cuarto que alcanza el parámetro. Respecto a los sólidos no grasos (SNG), todos los cuartos cumplen con el parámetro establecido por la norma (SNG: 8.3 %); sin embargo, el CAD marca un valor un poco más elevado respecto a los demás cuartos. Lo mismo que se observó en SNG ocurre en los parámetros obtenidos en lactosa (LAC), ya que todos los cuartos entran en lo descrito por la norma (LAC: 4.3 a 5.2 %), resultando el CAD como el cuarto más significativo. Las proteínas (PRO), que marca la norma (PRO: 3 % mín.), las cumplen todos los cuartos, pero incrementan un poco en el CAD, nuevamente. Para sólidos totales (ST), Molina-

Santillán, (2009) menciona que en razas bovinas Holstein el porcentaje de ST es del 12.26 %, el cual se refleja únicamente en el CAD, que tiene un valor de ST: 12.56 ± 0.23 %. Por último, el punto de congelación (PC), marcado en la norma (PC: -0.510 a -0.536 °C), nos ayuda a concluir que los cuatro cuartos se encuentran incluso por debajo del PC marcado en la norma y aún más bajo en el CAD. El punto de congelación varía por múltiples factores como razas, climas y países, pero este es importante porque permite saber si la leche ha sido adulterada con agua (WingChing-Jones & Mora-Chaves, 2019). Se puede mencionar que la leche obtenida de las tres vacas no ha sido adulterada porque el PC es incluso más bajo que el establecido en la norma correspondiente.

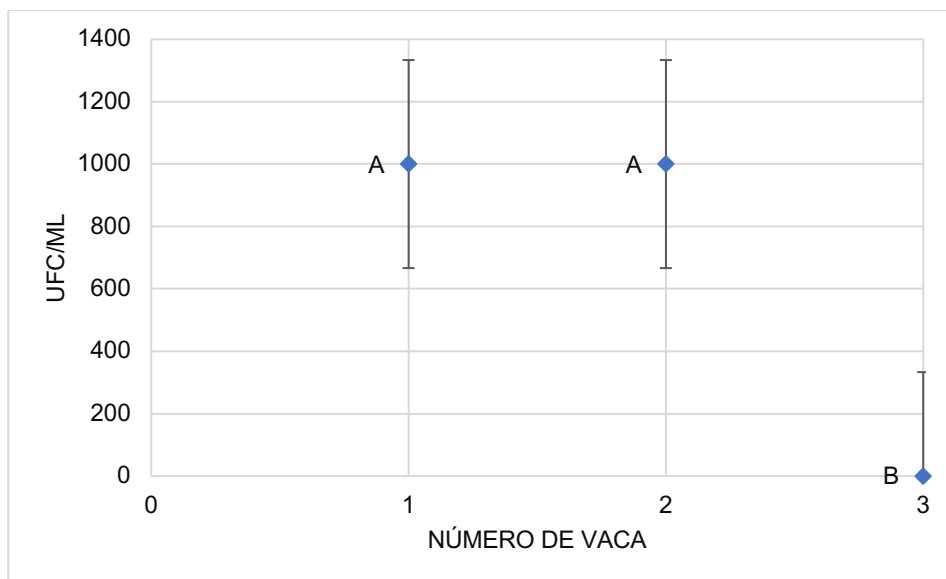
Tabla 3. *Parámetros fisicoquímicos de la leche entre vacas y glándula mamaria (cuarto).*

VARIABLES	CPI	CAI	CPD	CAD
GRA (%)	2.42 ± 0.06^C	2.66 ± 0.09^{BC}	2.92 ± 0.11^{AB}	3.14 ± 0.07^A
SNG (%)	8.70 ± 0.12^B	8.95 ± 0.21^{AB}	8.79 ± 0.33^B	9.93 ± 0.18^A
DEN (g/mL)	1.037 ± 0.0^A	1.03 ± 0.0^A	1.03 ± 0.0^A	1.03 ± 0.0^A
LAC (%)	4.68 ± 0.08^B	4.77 ± 0.08^B	4.75 ± 0.18^B	5.09 ± 0.12^A
PRO (%)	3.25 ± 0.04^B	3.22 ± 0.05^B	3.18 ± 0.15^B	3.45 ± 0.04^A
ST (%)	11.13 ± 0.1^B	11.18 ± 0.31^B	11.60 ± 0.62^B	12.56 ± 0.23^A
ADD (g/L)	0.0 ± 0.0^A	0.0 ± 0.0^A	0.0 ± 0.0^A	0.0 ± 0.0^A
PC (°C)	-0.56 ± 0.01^{AB}	-0.56 ± 0.01^{AB}	-0.55 ± 0.02^A	-0.59 ± 0.03^B
TEMP (°C)	23.77 ± 0.15^A	23.68 ± 0.27^A	23.21 ± 0.2^A	24.39 ± 0.15^A
pH	6.42 ± 0.04^A	6.46 ± 0.05^A	6.42 ± 0.06^A	6.44 ± 0.06^A
CND (mS/cm)	5.04 ± 0.04^A	5.06 ± 0.05^A	5.0 ± 0.06^A	5.04 ± 0.02^A

Las siglas indican: grasa (GRA), sólidos no grasos (SNG), densidad (DEN), lactosa (LAC), proteína (PRO), sólidos totales (ST), agua adicionada (ADD), punto de congelación (PC), temperatura (TEMP), pH y conductividad eléctrica (CND). Las mediciones se realizaron en cada cuarto mamario: CPI (cuarto posterior izquierdo), CAI (cuarto anterior izquierdo), CPD (cuarto posterior derecho) y CAD (cuarto anterior derecho). Los valores se expresan como promedio \pm desviación estándar. Letras distintas (A, AB, AC, B) indican diferencias significativas entre muestras ($p < 0.05$). Letras iguales indican sin diferencias significativas entre muestras ($p > 0.05$).

Análisis Microbiológicos

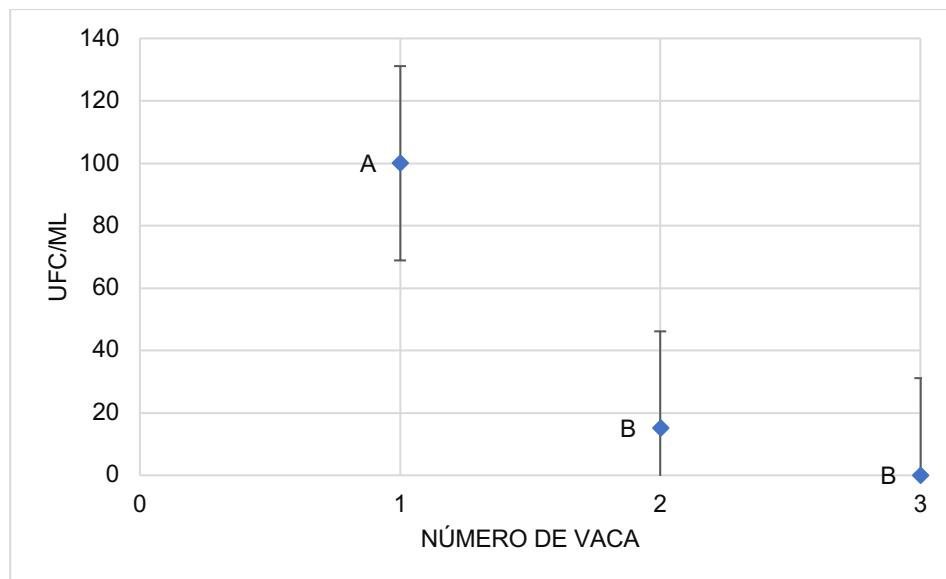
Para las evaluaciones microbiológicas, se presentaron diferencias significativas en la cuantificación de hongos (Gráfica 1); ya que en las muestras de las vacas 011 y 087 se observó crecimiento, a diferencia de las muestras 269, que no presentaron crecimiento. En este sentido, los límites máximos recomendados de hongos en la leche son de 100 UFC/mL (Ortiz-Durán, 2017); por lo tanto, las muestras de las vacas 011 y 087 no cumplen con dicho parámetro de calidad ya que excedieron dicho límite alrededor de 10 veces más; lo cual, puede explicarse ya que ambas vacas mostraron también los valores de pH más bajos en leche, lo cual favorece el crecimiento específicamente de los hongos, dicha aseveración se puede corroborar en la Tabla 5, donde se presentó una correlación alta e inversamente proporcional entre el pH y la presencia de hongos, es decir a menor pH, se presenta mayor crecimiento de este tipo de microorganismos.



Gráfica 1. Representación gráfica de la concentración de hongos, expresada en unidades formadoras de colonia por mililitro (UFC/mL), para cada muestra de leche.

Concentración de hongos (UFC/mL) en muestras de leche. Número de vaca 1 (vaca 11) 2 (vaca 87) y 3 (vaca 269). Los valores se expresan como promedio \pm desviación estándar. Letras distintas (A, B) indican diferencias significativas entre muestras ($p < 0.05$). Letras iguales indican sin diferencias significativas entre muestras ($p > 0.05$).

En lo que respecta a la cuantificación de bacterias mesófilas aerobias totales, también se identificaron diferencias significativas entre la leche de las tres vacas (Gráfica 2); los valores de las muestras 087 y 269 presentaron un bajo crecimiento poblacional respecto a la 11. No obstante, en el PROY-NMX-F-700-COFOCALEC-2019 se categorizan 4 clases (Clase 1: $\leq 100\,000$ UFC/mL, Clase 2: $101\,000-300\,000$ UFC/mL, Clase 3: $301\,000-599\,000$ UFC/mL y Clase 4: $600\,000-1\,200\,000$ UFC/mL); de acuerdo con las muestras analizadas, todas fueron catalogadas bajo la Clase 1.

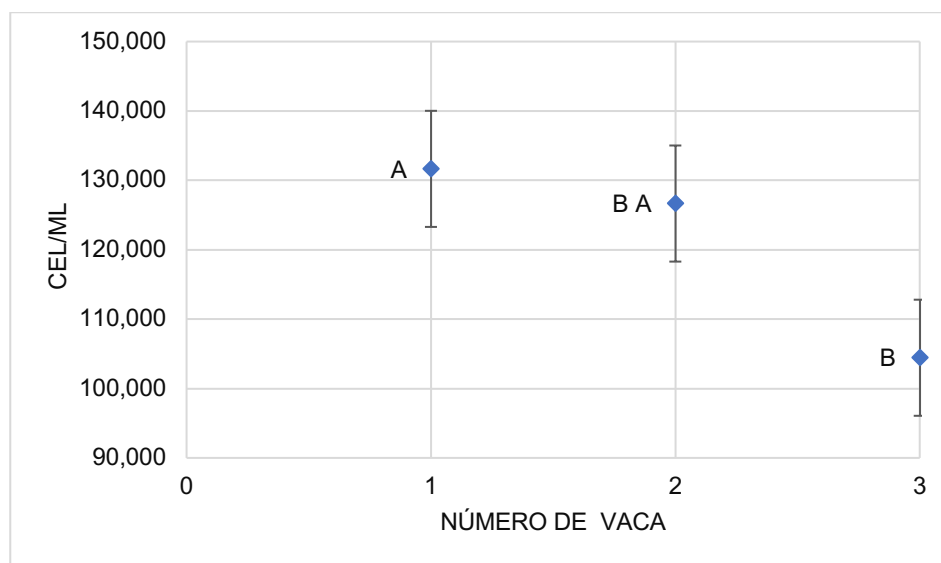


Gráfica 2. Representación gráfica de la concentración de bacterias mesófilas aerobias totales, expresada en unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/mL), para cada muestra de leche.

Concentración de bacterias (UFC/mL) en muestras de leche. Número de vaca 1 (vaca 011), 2 (vaca 087) y 3 (vaca 269). Los valores se expresan como promedio \pm desviación estándar. Letras distintas (A, B) indican diferencias significativas entre muestras ($p < 0.05$). Letras iguales indican sin diferencias significativas entre muestras ($p > 0.05$).

Conteo de Células Somáticas

Por lo que se refiere al conteo de las células somáticas analizadas en las muestras por vaca (Gráfica 3), se presentaron diferencias significativas entre las tres. El número de células somáticas/mL en leche está relacionado con el estado de la ubre y la calidad de la leche (ubre sana y leche normal: menor a 100,000 cel/mL; ubre sospechosa: de 100,000 a 200,000 cel/mL; y ubre con mastitis y leche anormal: más de 200,000 cel/mL) (Hernández-Reyes & Bedolla-Cedeño, 2008). En el presente estudio, los valores no superan las 200,000 células somáticas en las muestras analizadas, más no entran en el parámetro de una ubre completamente sana, ya que los valores se encuentran ligeramente elevados, en 100,000 cel/mL, dando como resultado vacas no infectadas, pero sospechosas, que posiblemente presentaron alguna infección previa en alguno de sus cuartos de acuerdo con la literatura citada.



Gráfica 3. Representación gráfica del conteo de células somáticas, expresada en unidades de células por mililitro (cel/mL), para cada muestra de leche. Conteo de células somáticas (cel/mL) en muestras de leche. Número de vaca (número de vaca de acuerdo con su arete): 1 (vaca 011) 2 (vaca 087) y 3 (vaca 269). Los valores se expresan como promedio \pm desviación estándar. Letras distintas (A, BA, B) indican diferencias significativas entre muestras ($p < 0.05$).

Prueba de California para Mastitis (CMT)

Se realizó durante el ordeño a las vacas identificadas con el arete 011, 087 y 269. La lectura de la muestra se basa en la aparición de un estado de gelificación, cuya intensidad es proporcional de manera diferente a la concentración de células somáticas en la leche. Se interpreta como negativo si la mezcla de muestra y reactivo es homogénea y mantiene su fluidez sin mostrar alteraciones visibles; en cambio, se considera positivo si la mezcla se vuelve bastante mucilaginosa al movimiento rotatorio, no fluye libremente y presenta grumos (Peña-Guevara, 2017). En ninguna de las muestras analizadas se observaron cambios en la consistencia de la leche al agregar el reactivo California (púrpura de bromocresol) (Figuras 1, 2 y 3), obteniendo resultados negativos para todas las muestras (Tabla 4).



*Figura 1. Prueba de California en leche bronca de la vaca 011.
Fuente propia.*



*Figura 2. Prueba de California en leche bronca de la vaca 087.
Fuente propia.*



Figura 3. Prueba de California en leche bronca de la vaca 269.
Fuente propia.

Tabla 4. Prueba de California para la identificación de mastitis en leche bronca de vaca.

VACA	Glándula mamaria (cuartos)	Posición	Resultados	Interpretación	Probable número de células somáticas por mL de leche acorde a Peña-Guevara, (2017)
11	1	Anterior derecho	(-)	En todos los cuartos de las tres vacas, la muestra permanece líquida sin alguna alteración de consistencia	<200,000
	2	Anterior izquierdo	(-)		
	3	Posterior derecho	(-)		
	4	Posterior izquierdo	(-)		
87	1	Anterior derecho	(-)		
	2	Anterior izquierdo	(-)		
	3	Posterior derecho	(-)		
	4	Posterior izquierdo	(-)		
269	1	Anterior derecho	(-)		
	2	Anterior izquierdo	(-)		
	3	Posterior derecho	(-)		
	4	Posterior izquierdo	(-)		

El (-) significa que el conteo de células somáticas en cada cuarto es menor <200,000.

Correlación de Pearson

De la correlación entre variables fisicoquímicas, microbiológicas y de células somáticas en las muestras de leche cruda de vaca, se encontraron fuertes relaciones, tanto directamente como inversamente proporcionales, en la mayoría de las variables analizadas (Tabla 5). Se resaltan en colores las variables que fueron altamente significativas ($p < 0.01$) en morado y las significativas ($p < 0.05$) en verde, de las cuales se puede destacar que las células somáticas (CSO), tienen una correlación fuerte y directamente proporcional con las bacterias (BAC) (0.57) y hongos (HON) (0.74), lo que indica que mayor cantidad de bacterias y hongos genera mayor cantidad de células somáticas. En lo que respecta a BAC, esta tiene una correlación directamente proporcional con HON (0.61), indicando que ambos pueden subir, comprometiendo la calidad y sanidad de la leche, coincidiendo con el PROY-NMX-F-700-COFOCALEC-2019, donde se indica que las características fisicoquímicas y de composición de la leche ofrecen el sustrato adecuado para el crecimiento

de microorganismos diversos, en los cuales pueden incluirse los patógenos. Mientras que para HON se encuentra una correlación inversamente proporcional con la lactosa (LAC) (-0.58) y el pH (-0.77), siendo esta última altamente significativa, lo que sugiere que, si disminuyen LAC y pH, la leche presenta una vida útil menor por la acción de los HON. A su vez, para la grasa (GRA) y los sólidos totales (ST) (0.87), la correlación es altamente significativa y directamente proporcional entre ellas, lo que indica una leche con alto valor nutritivo; mientras que tiene una correlación significativa e inversamente proporcional con el punto de congelación (PC) (-0.60), indicando una leche no adulterada, de acuerdo con la NOM-155-SCFI-2012. Además, el SNG tiene una correlación altamente significativa con LAC (0.75), PRO (0.94) y PC (-0.85); identificando que las primeras dos son directamente proporcionales y la tercera es inversamente proporcional a sólidos no grasos (SNG). En lo que respecta a la LAC, esta se correlaciona directamente proporcional con la proteína (PRO) (0.76), siendo altamente significativa, indicándonos una leche rica en nutrientes. De igual forma, se correlaciona de la misma manera con los sólidos totales (ST) (0.65), siendo esta significativa, lo que habla de una calidad nutricional dentro de los parámetros establecidos en la NOM-155-SCFI-2012; manteniendo así una correlación altamente significativa con el PC (-0.71), siendo esta inversamente proporcional a LAC, sugiriendo que, si sube en LAC, baja en el PC, y esto es un parámetro que indica que la leche no está adulterada con agua. Por último, el PC tiene una correlación altamente significativa e inversamente proporcional con PRO (-0.81) y con ST (-0.79).

Tabla 5. Correlaciones de Pearson de variables fisicoquímicas, microbiológicas y somáticas en leche cruda de vaca.

	CSO	BAC	HON	GRA	SNG	DEN	LAC	PRO	ST	ADD	PC	PH	CND
CSO	1.0	0.57	0.74	-0.00	-0.34	-0.24	-0.43	-0.26	-0.16	0.00	0.35	0.53	-0.55
BAC		1.0	0.61	0.09	-0.25	0.16	0.52	-0.17	-0.28	0.00	0.36	-0.24	-0.22
HON			1.00	0.18	-0.43	-0.09	-0.58	0.48	-0.06	0.00	0.31	-0.77	-0.40
GRA				1.00	0.47	-0.08	0.40	0.45	0.87	0.00	-0.60	-0.12	-0.19
SNG					1.00	0.05	0.75	0.94	0.60	0.00	-0.85	0.26	-0.37
DEN						1.00	-0.37	0.12	-0.60	0.00	-0.26	0.15	0.07
LAC							1.00	0.76	0.65	0.00	-0.71	0.24	-0.13
PRO								1.00	0.54	0.00	-0.81	0.35	-0.34
ST									1.00	0.00	-0.79	0.01	-0.18
ADD										1.00	0.00	0.00	0.00
PC											1.00	-0.22	0.29
pH												1.00	0.31
CND													1.00

Las siglas indican: células somáticas (CSO), bacterias (BAC), hongos (HON), grasa (GRA), sólidos no grasos (SNG), densidad (DEN), lactosa (LAC), proteína (PRO), sólidos totales (ST), agua adicionada (ADD), punto de congelación (PC), potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CND). Los valores marcados en morado indican una correlación altamente significativa ($p \leq 0.01$) y los valores en verde indican una correlación significativa ($p \leq 0.05$).

Conclusión

El análisis de las de las vacas y sus muestras de leche evaluadas mostraron diferencias significativas en parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y en el conteo de células somáticas. La mayoría de los parámetros fisicoquímicos cumplieron con los límites de las normas, aunque se observaron variaciones entre cuartos mamarios, destacando el cuarto anterior derecho (CAD) por su mayor contenido de sólidos totales y grasa. Sin embargo, en el análisis de cuantificación de hongos y bacterias en leche, algunas muestras de leche excedieron los rangos permitidos. Es importante mencionar que todos los animales pertenecen a la misma especie, zona y sistema de manejo, pero existieron diferencias importantes en la edad de cada vaca. Por otro lado, la evaluación médica mostró que los parámetros fisiológicos, como frecuencia cardíaca, respiratoria y temperatura, se mantuvieron dentro de los rangos normales para bovinos. Estos resultados permiten observar la relación que existe entre las condiciones individuales de las vacas y la calidad de la leche producida, lo cual es fundamental para garantizar un producto buena calidad, considerando la inocuidad como el principal de los atributos.

Bibliografía

- Alhussien, M. N., & Dang, A. K. (2018). Células somáticas de la leche, factores que influyen en su liberación, perspectivas futuras y utilidad práctica en animales lecheros: una descripción general. *Veterinary World*, 11(5), 562-577.
- Caggiano, N., & DeSimone, E. (2017). Niveles de Glicosaminoglicanos en leche como indicador de salubridad mamaria en vacas Holstein. Universidad de Buenos Aires.
- Dallago, G. M., Wade, K. M., Cue, R. I., McClure, J. T., Lacroix, R., Pellerin, D., & Vasseur, E. (2021). Keeping dairy cows for longer: A critical literature review on dairy cow longevity in high milk-producing countries. *Animals*, 11(3), 808.
- Eşki, F., & Kurt, S. (2021). Effect of lactation number on milk yield in Holstein dairy cows. *Turkish Journal of Veterinary Research*, 5(1), 1-4.
- Falfan-Araujo, K. A., Patiño-Cornejo, I. A., Gómez-Ortega, I. V., Silva-Silva J. J., Luján-Rodríguez, A. G., Salas-Mendoza, A. M., Rojas-González, S., & Rodríguez-Hernández, G. (2024). Correlación entre perfil fisicoquímico, carga microbiológica y conteo de células somáticas en leche bovina. *Jóvenes en la Ciencia*, 28. <https://doi.org/10.15174/jc.2024.4287>
- Fuentes-Cabrera, F. Z., Mancia Aguilar, B. E., Portillo Henríquez, B. C., Torres de Ortiz, B. E., & Corea Guillén, E. E. (2019). Relación entre el resultado de la prueba de California para mastitis y las características fisicoquímicas y microbiológicas de la leche en seis ganaderías lecheras en Sonsonate, El Salvador. *Revista Agrociencia*, 2(10), 16-33. ISSN 2522-6509.
- Gasque-Gómez, R. (2015). Mastitis Bovina. Sitio Argentino de Producción Animal, 1, 1-5.
- Hernández-Reyes, J. M., & Bedolla-Cedeño, J. L. C. (2008). Importancia del conteo de células somáticas en la calidad de la leche. REDVET. *Revista electrónica de Veterinaria*, 9(9), 1-34. ISSN 1695-7504.
- López, F. J. (2006). Relación entre condición corporal y eficiencia reproductiva en vacas Holstein. *Biotechnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 4(1), 77-86.
- Marini, P. R. (2024). Cruzamientos: una herramienta para mejorar la longevidad de las vacas lecheras. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 32(Supl 1), 9-17.
- Molina-Santillan, F. I. (2009). *Determinación de la Calidad de la Leche Cruda (Acidez, Densidad, Grasa, Reductasa, Sólidos Totales), Aplicando un Programa de Capacitación en 4 Comunidades de la Parroquia Pintag, Cantón Quito* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Norma Oficial Mexicana (1995). NOM-092-SSA1-1994. *Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa*. Diario Oficial de la Federación.
- Norma Oficial Mexicana. (1995). NOM-110-SSA1-1994. *Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico*. Diario Oficial de la Federación.
- Norma Oficial Mexicana. (1995). NOM-111-SSA1-1994. *Bienes y servicios. Método para la determinación de mohos y levaduras en alimentos*. Diario Oficial de la Federación.
- Norma Oficial Mexicana. (2012). NOM-155-SCFI-2012, *Leche—Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación.
- Norma Oficial Mexicana (2010). NOM-243-SSA1-2010, *Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación.
- Ortiz-Durán, E. P., Pérez-Romero, R. A., & Orozco-Sanabria, C. A. (2017). Identificación de agentes micóticos en muestras de leche obtenidas de tanques de enfriamiento. *Ciencia y Agricultura*, 14(2), 99-106.
- Peña-Guevara, C. D. R. (2017). *Prevalencia de Mastitis Subclínica en Vacas Lactantes usando la Prueba de California Mastitis Test en el Dist. de Canchaque-Prov. Huancabamba-Año 2016* [Tesis de grado, Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo"].
- Perrin, G. G., Rérat, M., Farinaux, L., & Poutrel, B. (1997). Management practices associated with low somatic cell counts in French dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 80(5), 1238-1243.

- Proyecto de Norma Mexicana (2019). PROY-NMX-F-700-COFOCALEC-2019, Sistema producto leche-alimento-lácteo-leche cruda de vaca-especificaciones fisicoquímicas, sanitarias y métodos de prueba. Diario de la Federación.
- Radostits, O. M., Gay, C. C., Hinchcliff, K. W., & Constable, P. D. (2007). *Veterinary Medicine: A Textbook of the Diseases of Cattle, Horses, Sheep, Pigs, and Goats*. Saunders Elsevier.
- Rodríguez, C. E., Saavedra, G. F., & Gómez, D. F. (2015). Efecto de la etapa de lactancia sobre la calidad fisicoquímica de leche en vacas de raza Holstein y Normando. *Zootecnia Tropical*, 33(1), 23-35.
- Ruegg, P. L. (2017). A 100-Year Review: Mastitis detection, management, and prevention. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10381–10397. 10.3168/jds.2017-13023.
- SAS, Statistical Analysis System. (2002). Version 9.0 for Windows. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). Sector lechero, vital en el desarrollo económico, social y alimentario del país: Agricultura. (SADER). Gobierno de México.
- WingChing-Jones, R., & Mora Chaves, E. (2019). Efecto de agregar agua sobre el punto crioscópico y componentes de la leche cruda de vacas Jersey y Holstein. *UNED Research Journal/Cuadernos de Investigación UNED*, 11(03), 313-319. ISSN 1659-4266.