

Lorena Guadalupe Ramón-Canul<sup>1</sup>

 0000-0002-1974-3256

Víctor Daniel Cuervo-Osorio<sup>1</sup>

 0000-0002-9810-3379

Rodrigo Santiago-Cabrera<sup>2</sup>

Adán Cabal-Prieto<sup>3\*</sup>

 0000-0002-2267-7915

Fernando Uribe-Cuauhtzihua<sup>4</sup>

 0000-0002-9468-3409


Juan Cristóbal Hernández-Arzaba<sup>5</sup>

 0000-0002-0646-1794

Jasiel Valdivia-Sánchez<sup>4</sup>

 0000-0002-3347-5227

Jorge Armida-Lozano<sup>4</sup>

 0009-0004-9910-8747

Gregorio Hernández-Salinas<sup>4</sup>

 0000-0001-7857-3624

Dalis Sofia Sosa-Gutiérrez<sup>6</sup>

 0000-0002-9185-1745

Alfonso Juventino Chay-Canul<sup>7</sup>

 0000-0003-4412-4972

Emmanuel de Jesús Ramírez-Rivera<sup>4\*</sup>

 0000-0002-3865-1314

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México.  
Instituto Tecnológico de Chiná.  
Chiná, Campeche, México.

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México.  
Instituto Tecnológico de Comitancillo.  
San Pedro Comitancillo, Oaxaca, México.

<sup>3</sup> Tecnológico Nacional de México.  
Instituto Tecnológico Superior de Huatusco.  
Huatusco, Veracruz, México.

<sup>4</sup> Tecnológico Nacional de México.  
Instituto Tecnológico Superior de Zongolica.  
Zongolica, Veracruz, México.

<sup>5</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba.  
Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

<sup>6</sup> Tecnológico Nacional de México.  
Instituto Tecnológico Superior de Juan Rodríguez Clara.  
Juan Rodríguez Clara, Veracruz, México.

<sup>7</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
División Académica de Ciencias Agropecuarias.  
Villahermosa, Tabasco, México.

**\*Autores para correspondencia**

Correo electrónico:

[acabalp@huatusco.tecnm.mx](mailto:acabalp@huatusco.tecnm.mx)

[ejramirezrivera@zongolica.tecnm.mx](mailto:ejramirezrivera@zongolica.tecnm.mx)

Recibido: 2024-10-11

Aceptado: 2025-09-13

Publicado: 2026-01-22

Información y declaraciones adicionales  
en la página 11

© Derechos de autor 2026

Lorena Guadalupe Ramón-Canul et al.

acceso abierto 



Distribuido bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución 4.0 Internacional (CC-BY 4.0)

## Calidad fisicoquímica y microbiológica según los sistemas de producción de la leche y el queso fresco (cuajada) de bovino, en el istmo de Tehuantepec, México

### Resumen

El objetivo de esta investigación fue caracterizar la calidad fisicoquímica y microbiológica de la leche y el queso fresco (cuajada) de ganado bovino elaborado en el istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México, así como analizar los sistemas de producción pecuarios asociados a su elaboración. De cada sistema de producción se evaluaron 10 L de leche cruda bovina y 10 muestras de queso fresco (500 g cada una), y se determinaron parámetros microbiológicos y fisicoquímicos. Los productores en los sistemas de producción tienen entre 43 y 72 años y estudios de nivel superior concluidos. Los hatos bovinos oscilaron entre 64–187 cabezas con razas dominantes de Cebú (*Bos indicus*), Suizo e Indubrasil (*Bos taurus* × *Bos indicus*) con una producción de 100–168 litros de leche diarios. Los resultados mostraron que la leche y la cuajada no cumplen con los estándares microbiológicos de la normativa mexicana. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas, la humedad del queso fue alta (50–61 %) y la proteína varió entre 17–35 %) y la grasa, 8–22 %. El análisis de color reveló alta luminosidad ( $L^*$  87–93) y tonalidad amarilla ( $b^*$  15–20), mientras que el perfil de textura indicó diferencias significativas en dureza (5–50 N) y cohesividad. Los hallazgos resaltan la importancia de capacitaciones técnicas para mejorar la calidad y seguridad de estos productos, preservando al mismo tiempo su valor cultural y tradicional.

**Palabras clave:** Queso; Color; México; Bovinos; Perfil textura.

### Cómo citar este artículo:

Ramón-Canul LG, Cuervo-Osorio VD, Santiago-Cabrera R, Cabal-Prieto A, Uribe-Cuauhtzihua F, Hernández-Arzaba JC, Valdivia-Sánchez J, Armida-Lozano J, Hernández-Salinas G, Sosa-Gutiérrez DS, Chay-Canul AJ, Ramírez-Rivera EJ. Calidad fisicoquímica y microbiológica según los sistemas de producción de la leche y el queso fresco (cuajada) de bovino, en el istmo de Tehuantepec, México. Veterinaria México OA. 2026;13. doi: 10.22201/fmvz.24486760e.2026.1429.

## Contribución del estudio

En México, el sector ganadero bovino es de gran importancia para su economía, por lo que es importante conocer cómo se conforman los sistemas de producción y cuáles son sus limitantes. El propósito es que estos estudios contribuyan de manera holística al conocimiento científico mediante una caracterización integral de la calidad del producto en los sistemas de producción analizando los estándares de calidad de acuerdo con la normatividad y mediante la integración de un enfoque que incluya variables técnicas y socioeconómicas. Además, los resultados reportados indican que es relevante brindarles a los productores asesoría técnica, para que su producto alcance mayor calidad e inocuidad.

## Introducción

La elaboración de queso es una importante industria en el mundo y gran parte de ella se realiza de manera artesanal.<sup>(1)</sup> En México, la producción artesanal de queso data de los tiempos de La Colonia, desde entonces, la producción y el consumo de queso han ido en aumento, de tal manera que en el mercado actual (2025) hay gran variedad de formas de producirlo.<sup>(2)</sup> En la pequeña y mediana empresa, los quesos se elaboran a partir de leche cruda y, pocas veces, a partir de leche pasteurizada; se utilizan métodos artesanales y distintivos de cada región.<sup>(3)</sup> Por lo anterior, el producto es heterogéneo en sus características fisicoquímicas y organolépticas. Además, debido a que la gran mayoría de quesos se elabora a partir de leche cruda utilizando metodologías rudimentarias y no estandarizadas, puede contener microorganismos patógenos, por lo que, aumenta el riesgo de contraer enfermedades transmitidas por este alimento.<sup>(3, 4)</sup>

El queso artesanal es apreciado por sus características nutricionales, atributos sensoriales y el proceso tradicional que se sigue en su elaboración.<sup>(2)</sup> Las características fisicoquímicas y sensoriales de este tipo de productos se deben al espacio geográfico, los factores culturales y naturales del saber-hacer histórico, el tipo de coagulante y las propiedades mismas de la leche.<sup>(2, 3)</sup> Dentro de estas propiedades destacan la microbiota natural del ganado lechero y el tipo de alimento consumido.<sup>(5)</sup> Además, es importante conocer las características fisicoquímicas y microbiológicas de la leche con la finalidad de contribuir a la estandarización de estos productos. El queso artesanal forma parte de la dieta y la economía de los mexicanos.<sup>(6)</sup>

Sin embargo, debido a que se produce a partir de leche cruda, no cumple con las normas mexicanas en materia de inocuidad alimentaria.<sup>(1)</sup> Por lo tanto, es imprescindible asegurar la inocuidad del producto con la finalidad de seguir preservando toda una tradición heredada de generación en generación.<sup>(3, 5)</sup> El queso fresco conocido como "cuajada" es un queso que se elabora con leche cruda de vaca en los municipios mexicanos de Juchitán de Zaragoza, San Pedro Comitancillo, Matías Romero, Unión Hidalgo, El Espinal y Asunción Ixtaltepec (en la región del istmo de Tehuantepec), todos en el estado de Oaxaca. Este tipo de queso es de forma cilíndrica y de color blanco, y es parte fundamental de la dieta de los consumidores de la región del istmo de Tehuantepec, Oaxaca, quienes lo acostumbran a consumir acompañado de totopos, salsas o como parte de diferentes platillos.

Para la economía de los productores de queso de esta región, este alimento es importante debido a su alta demanda en los mercados locales, lo que se traduce en una fuente de ingresos económicos para ellos y sus familias. Lamentablemente, los estudios científicos sobre este producto son escasos; por ello, proponemos la caracterización y estandarización de todo el proceso de producción. Así, el objetivo de la presente investigación fue caracterizar los sistemas de producción y determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica de la leche y el queso fresco producidos en el istmo de Tehuantepec, Oaxaca.

## Materiales y métodos

### *Caracterización de sistemas de producción*

Se entrevistaron a seis productores para caracterizar cada uno de los sistemas de producción de tipo familiar ubicados en un área que comprende los municipios oaxaqueños de San Pedro Comitancillo, Asunción Ixtaltepec y El Espinal. Esta investigación fue realizada en 2016–2017. Los sistemas de producción se codificaron de acuerdo con las primeras letras del nombre del municipio y con los números 1 y 2, los cuales indican las coordenadas de referencia. COMI1 pertenece a San Pedro Comitancillo, a 16°43'32" norte, 95°12'13" oeste; COMI2 es también San Pedro Comitancillo, pero 16°29'05" norte, 95°07'54" oeste. IXT1 es Asunción Ixtaltepec a 16°30'58" norte, 95°03'08" oeste; mientras IXT2 es Asunción Ixtaltepec a 16°49'73" norte, 95°06'36" oeste. ESP1 corresponde a El Espinal 16°49'35" norte, 95°04'41" oeste, y ESP2, a El Espinal 16°47'23" norte, 95°03'35" oeste.

Se utilizó una cédula de entrevista que tenía los siguientes aspectos (material suplementario): a) datos personales, b) aspectos socioeconómicos del productor, c) alimentación y pasto, d) sanidad, e) producción de leche, f) caracterización de los quesos artesanales, g) condiciones de la elaboración del queso artesanal (cuajada).<sup>(7,8)</sup> Las entrevistas se realizaron de manera presencial con los productores.

### *Recolección y transporte de muestras de leche y queso*

Las muestras fueron recolectadas mediante un muestreo aleatorio simple siguiendo la norma oficial mexicana para la toma, el manejo y el transporte de muestras.<sup>(9)</sup> Se evaluaron seis sistemas de producción, de cada uno se obtuvieron 10 L de leche cruda bovina y 10 muestras de queso fresco (500 g cada una). El queso se elaboró a partir del mismo lote de leche muestreada. La leche y los quesos se colocaron en bolsas y contenedores estériles para ser transportados a 4 °C. Al llegar al laboratorio se registró la temperatura de la leche y de los quesos y se mantuvo en refrigeración (6–7 °C). Todas las muestras se procesaron dentro de las ocho horas posteriores a su recepción.

### *Producción de la cuajada*

La leche se obtuvo mediante ordeño manual y se filtró con una manta de quesería para eliminar las impurezas. Posteriormente, se calentó a 37 °C y se le agregó cuajo comercial, dejándolo actuar durante 120 min. Una vez formada la cuajada, se cortó y se eliminó el suero manualmente con ayuda de una manta. Luego, se saló añadiendo directamente sal de mesa. La cuajada se colocó en moldes de plástico y, después de dos horas, los quesos se extrajeron de los moldes, se empaquetaron en bolsas de polietileno y se almacenaron a 7 °C.

### *Análisis microbiológicos de la leche y el queso*

Para el recuento microbiológico se usaron placas Petrifilm 3MTM de acuerdo con los procedimientos descritos por la *Association of Official Analytical Chemists*.<sup>(10)</sup> En la leche se determinaron mesófilos aerobios,<sup>(11)</sup> coliformes totales,<sup>(12)</sup> *Escherichia coli*<sup>(13)</sup> y *Staphylococcus aureus*.<sup>(14)</sup> *Salmonella* ssp. y *Brucella abortus* se determinaron de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y la Organización Mundial de Sanidad Animal.<sup>(15–17)</sup> Para conocer los mesófilos aerobios, se homogenizaron 25 g o 25 mL de muestra con 225 mL de agua peptonada en diluciones seriadas ( $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ ). Las alícuotas se sembraron en agar mediante el método estándar y se incubaron a  $35 \pm 2$  °C durante  $48 \pm 2$  h.

Para saber de los coliformes totales se mezclaron 25 g de muestra con 225 mL de agua peptonada en diluciones seriadas ( $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ ). Se sembraron en agar bilis rojo violeta y se incubaron a  $35 \pm 2$  °C por  $48 \pm 2$  h. Para determinar *Escherichia coli* se homogenizaron 25 g de muestra en 225 mL de agua peptonada. Las alícuotas se sembraron en agar eosina azul de metileno y se incubaron a  $35 \pm 2$  °C durante  $48 \pm 2$  h. Las colonias sospechosas se confirmaron mediante pruebas bioquímicas (indol, citrato de Simmons, rojo de metilo-Voges Proskauer). Para *Staphylococcus aureus* cada muestra de 25 g se homogeneizó en 225 mL de agua peptonada, se sembró en agar Baird Parker y se incubó a  $35 \pm 2$  °C por  $48 \pm 2$  h. Los aislamientos se confirmaron mediante pruebas de coagulasa, catalasa y termonucleasa.

Para la identificación de *Salmonella* spp., 25 g de muestra se enriquecieron con caldo lactosado a  $35 \pm 2$  °C por  $24 \pm 2$  h, después se transfirieron a caldo selenito-cistina ( $35 \pm 2$  °C,  $24 \pm 2$  h). Se sembraron en agar xilosa lisina desoxicolato (XLD) y agar salmonella–shigella (SS) y se incubaron en condiciones iguales. La identificación final incluyó pruebas bioquímicas (Agar hierro tres azúcares [TSI], agar lisina hierro [LIA, por sus siglas en inglés], urea) y serológicas (aglutinación con antisueros específicos). Para la prueba de *Brucella abortus*, las muestras de leche se homogenizaron en solución salina estéril suplementada con penicilina (100 UI/mL) y estreptomina (100 µg/mL), se centrifugaron a  $3\,000 \times g$  por 15 min. El sedimento se sembró en agar suero dextrosa y se incubó a 37 °C en atmósfera con 5–10 % de  $\text{CO}_2$  por 21 días.

Los aislamientos se confirmaron mediante pruebas de oxidasa, catalasa, ureasa y producción de  $\text{H}_2\text{S}$ . Las determinaciones se realizaron por quintuplicado. Los resultados de los análisis microbiológicos para mesófilos aerobios, coliformes totales, se transformaron a  $\text{Log}_{10}$  UFC/mL o gramos para su análisis estadístico. Los resultados de salmonela, *E. coli*, *B. abortus* y *S. aureus* se reportaron como ausencia y presencia.

### Análisis fisicoquímicos de la leche y el queso

En la leche se determinaron los porcentajes de proteína, grasa, lactosa, agua añadida, sólidos no grasos (SNG), sales, punto crioscópico PC (°C), conductividad ( $\text{mS}/\text{cm}^3$ ) y densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) mediante un analizador por ultrasonido Lactoscan S (Milkotronic Ltd., 4 Narodni Buditeli Str. 8 900 Nova Zagora Bulgaria). La acidez ( $\text{g}/\text{L}$  de ácido láctico) se determinó de acuerdo con el método 947.05.<sup>(10)</sup> En el queso se analizó: proteína (método 920.123), humedad (método 948.12), ceniza (método 935.42)<sup>(10)</sup> y lípidos (método Gerber-Van Gulik).<sup>(18)</sup> Para determinar el pH se usó un potenciómetro marca Hanna modelo HI 98 230 (Hanna Instruments, Italia) calibrado con soluciones *buffer* de pH 4 y 7 (Sigma de México) y la actividad del agua (*Aw*) se determinó con un equipo Pawkit (Decagon Devices, Inc). Los análisis se realizaron por quintuplicado.

### Color y perfil de textura del queso

Para conocer el color y la textura del queso, se usó un colorímetro UltraScan® Vis (HunterLab, Hunter Associates Laboratory Inc., 11 491 Sunset Hills Road, Reston, Virginia USA) calibrado con un blanco estándar para obtener los parámetros de Luminosidad ( $L^*$ ), rojo-verde ( $a^*$ ) y amarillo-azul ( $b^*$ ), a partir de estos últimos parámetros se calculó la cromaticidad ( $C^*$ ) y el ángulo Hue ( $H^\circ$ ) mediante las ecuaciones (1) y (2):

$$C^* = \frac{(a^*)^2 + (b^*)^2}{2} \quad (1)$$

$$H^\circ = \arctan (b^*/a^*) \quad (2)$$

Usando el espacio de color CIE L\*a\*b\* (CIELAB), definido por la *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE), con iluminante D65 como fuente luminosa y un ángulo de observación de 10 grados.<sup>(19)</sup> El análisis de la textura se realizó en un equipo TA-XTplus (Texture Technologies Corp., Sacrsdale NY/Stable Microsystems, Haslemere, Surrey, UK). Para el desarrollo del perfil de la textura, el queso se cortó en cilindros (3 cm diámetro×5 cm de altura). Las mediciones se realizaron a temperatura constante (20 ±2 °C) y se utilizó una sonda de plato de compresión (P/75, de aluminio de 75 mm diámetro; Stable Microsystems, Haslemere, Surrey, UK). La prueba consistió en dos ciclos sucesivos de compresión axial a un 25 % de la altura de la sonda sin carga. Los parámetros de textura que se midieron fueron dureza, fracturabilidad, adhesividad, cohesión, gomosidad, elasticidad y masticabilidad.<sup>(19)</sup> Tanto la prueba de color como la de textura se realizaron cinco veces.

### Análisis estadístico

La normalidad de la distribución de los datos se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para las variables que cumplieron con este supuesto, se analizó la varianza unidireccional (ANOVA de un factor) con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ . Cuando se detectaron diferencias estadísticamente significativas, se aplicó la prueba de Tukey. En las variables que violaron los supuestos de normalidad, se implementó una transformación Winsorizada (umbral de 95 %) para reducir la influencia de valores extremos. Posteriormente, se volvió a evaluar la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Si los datos transformados cumplieron con el supuesto de normalidad, se procedió con el ANOVA seguido de la prueba de Tukey. Cuando no se alcanzó la normalidad, incluso después de la transformación, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Todos los análisis se repitieron cinco veces y se procesaron estadísticamente con los programas para computadora "Statgraphic Centurion" versión XV y XLSTAT 2021.<sup>(20, 21)</sup>

## Resultados y discusión

### Caracterización de los sistemas de producción

Los productores de los municipios considerados en esta investigación tienen una media de edad de 53 años, en donde el productor con menor edad (43 años) y el de mayor edad (72 años) son del municipio de San Pedro Comitancillo. Los productores de Asunción Ixtaltepec y El Espinal cuentan con carrera concluida. La tenencia de la tierra en San Pedro Comitancillo y Asunción Ixtaltepec es ejidal y solo El Espinal es de pequeña propiedad. Los mayores inventarios bovinos fueron de San Pedro Comitancillo y Asunción Ixtaltepec con 187 y 149 cabezas, mientras que, en El Espinal, el inventario fue de 64 cabezas.

Solo San Pedro Comitancillo tiene las razas Cebú (*Bos indicus*), suizo e indubrasil (*Bos taurus* × *Bos indicus*); el resto de los municipios tiene un alto porcentaje de Cebú (*Bos indicus*) y suizo (*Bos taurus*). Las producciones de leche en San Pedro Comitancillo, Asunción Ixtaltepec y El Espinal son 150, 168 y 100 L/día, respectivamente. La alimentación del ganado bovino en el municipio de Comitancillo se basa en esquilmos agrícolas como el rastrojo de maíz (*Zea mays* L.), la soca del sorgo de grano (*Sorghum vulgare* L.) y el pastoreo de pastos nativos como gramas (*Axonopus affinis* y *Axonopus compressus*), el pasto *Guishi Beuu* (*Cenchrus* sp.) y el pasto carretero (*Botriocloa pertusa*). En Ixtaltepec, los productores usan pasto nativo y pacas de sorgo, y en El Espinal, pasto nativo.

**Cuadro 1.** Análisis microbiológico de la leche de los municipios del istmo de Tehuantepec, Oaxaca

Leches	Mesófilos aerobios	Coliformes totales	Hongos	Levaduras <sup>†</sup>	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella</i> spp.	<i>S. aureus</i>	<i>B. abortus</i>
COMI1	7.6 <sup>a</sup> ± 1.75	3.7 <sup>b</sup> ± 0.5	0 ± 0	4.0 <sup>b</sup> ± 1.05	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
COMI2	7.8 <sup>a</sup> ± 1.9	4.1 <sup>b</sup> ± 0.5	0 ± 0	3.0 <sup>c</sup> ± 0.0	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia
IXT1	7.9 <sup>a</sup> ± 1.65	5.3 <sup>a</sup> ± 0.6	0 ± 0	4.4 <sup>a</sup> ± 1.5	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
IXT2	7.5 <sup>a</sup> ± 1.35	5.6 <sup>a</sup> ± 1.0	0 ± 0	4.7 <sup>a</sup> ± 0.6	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
ESP1	7.9 <sup>a</sup> ± 1.19	5.4 <sup>a</sup> ± 1.0	0 ± 0	0.0 <sup>d</sup> ± 0.0	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
ESP2	7.4 <sup>a</sup> ± 2.6	5.2 <sup>a</sup> ± 1.05	0 ± 0	4.4 <sup>a</sup> ± 1.5	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

El análisis se estadió mediante Log<sup>10</sup> UFC/mL.

<sup>a, b, c, d</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Tukey (n = 5; P ≤ 0.05).

Los datos representan la media ± desviación estándar. <sup>†</sup> = variables analizadas vía Kruskal-Wallis. COMI1 = San Pedro

Comitancillo 1; COMI2 = San Pedro Comitancillo 2; IXT1 = Asunción Ixtaltepec 1; IXT2 = Asunción Ixtaltepec 2; ESP1 = El

Espinal 1; ESP2 = El Espinal 2.

### Análisis microbiológicos de las leches crudas

En el Cuadro 1 se muestran los resultados del análisis microbiológico de las leches crudas; no hay diferencias significativas en las variables analizadas. De acuerdo con las especificaciones sanitarias establecidas para leche cruda, los resultados obtenidos en este estudio evidencian un incumplimiento de los límites microbiológicos permitidos por la NOM<sup>(22)</sup> en lo que respecta al recuento de bacterias mesófilas aerobias. Dicha normativa establece un límite máximo de ≤ 100 000 UFC/mL, valor que fue superado en las muestras analizadas, lo cual indica contaminación microbiana. Este hallazgo sugiere posibles deficiencias en las prácticas de ordeño, almacenamiento o transporte, factores que favorecen la proliferación bacteriana.

Otros factores que pueden estar contribuyendo son las condiciones ambientales y climáticas, el manejo posordeño inadecuado, la salud del hato, la socioeconomía de los productores —no tienen acceso a tecnologías de enfriamiento, capacitación en buenas prácticas ganaderas y recursos para implementar medidas sanitarias estrictas—. Iñiguez-Muñoz et al.<sup>(23)</sup> reportaron que, en la leche de vaca obtenida de productores del municipio de Tepatitlán de Morelos, Jalisco, se superaron los límites máximos (5.8–6.1 Log<sub>10</sub> UFC/mL). Para coliformes totales, las leches de los sistemas de producción IXT1, IXT2, ESP1 y ESP2 exhibieron la mayor carga microbiana (5.3, 5.6, 5.4 y 5.2 Log<sub>10</sub> UFC/mL, respectivamente).

En todas las leches se encontraron levaduras (3–4.7 Log<sub>10</sub> UFC/mL) excepto en la de ESP1. Esto quizá sea porque las levaduras se hallan en el ambiente de las unidades de producción y podrían ser fuentes de contaminación natural de la leche cruda.<sup>(24)</sup> Sin embargo, hay ausencia de hongos; esto podría ser porque las bacterias mesófilas y las levaduras crecen rápidamente en la leche produciendo metabolitos inhibidores (ácidos, alcohol, bacteriocinas) que generan un ambiente desfavorable para los hongos, que son más lentos en su crecimiento y sensibles a la acidificación o a los compuestos antimicrobianos. Todas las leches tuvieron ausencia de *S. aureus* y *Salmonella* spp. Las leches producidas en COMI1, ESP1 y ESP2 contuvieron *E. coli*. y en la de COMI2 se halló *B. abortus*.

Los valores de mesófilos aerobios, coliformes totales, levaduras y *E. coli* de esta investigación no cumplen con los límites permitidos por la NOM.<sup>(25)</sup> Estos resultados demuestran deficiencia de higiene y rutinas de ordeño sin buenas prácticas de manejo durante la obtención y el almacenamiento de la leche.<sup>(26)</sup> Por ello, es importante capacitar constantemente a los productores en el uso de las buenas prácticas agrícolas, con la finalidad de que haya un impacto en la mejora de la calidad microbiológica de la leche.<sup>(26, 27)</sup>

**Cuadro 2.** Análisis fisicoquímico de la leche de los municipios del istmo de Tehuantepec, Oaxaca

Leches	Proteínas† (%)	Grasa (%)	SNG† (%)	Lactosa† (%)
COMI1	2.84 <sup>b</sup> ±0.01	4.05 <sup>b</sup> ±0.20	7.66 <sup>b</sup> ±0.02	4.05 <sup>b</sup> ±0.01
COMI2	3.02 <sup>a</sup> ±0.00	6.01 <sup>c</sup> ±0.11	8.11 <sup>a</sup> ±0.01	4.30 <sup>a</sup> ±0.00
IXT1	2.74 <sup>c</sup> ±0.05	7.24 <sup>a</sup> ±0.53	7.34 <sup>cd</sup> ±0.13	3.85 <sup>d</sup> ±0.08
IXT2	2.80 <sup>b</sup> ±0.03	5.69 <sup>b</sup> ±0.45	7.48 <sup>c</sup> ±0.11	3.95 <sup>c</sup> ±0.06
ESP1	2.71 <sup>cd</sup> ±0.02	6.08 <sup>b</sup> ±0.26	7.26 <sup>de</sup> ±0.05	3.81 <sup>de</sup> ±0.03
ESP2	2.66 <sup>d</sup> ±0.02	6.23 <sup>b</sup> ±0.37	7.15 <sup>e</sup> ±0.05	3.75 <sup>e</sup> ±0.03
Leches	Densidad (kg/mL)	PC (°C)†	Conductividad (mS/cm <sup>3</sup> )†	Sales (%)†
COMI1	1 025.95 <sup>b</sup> ±0.61	-0.48 <sup>c</sup> ±0.00	4.67 <sup>d</sup> ±0.59	0.73 <sup>d</sup> ±0.00
COMI2	1 027.15 <sup>a</sup> ±0.06	-0.52 <sup>d</sup> ±0.00	5.07 <sup>b</sup> ±0.08	0.80 <sup>a</sup> ±0.00
IXT1	1 023.86 <sup>d</sup> ±0.70	-0.48 <sup>c</sup> ±0.01	4.80 <sup>c</sup> ±0.02	0.75 <sup>b</sup> ±0.01
IXT2	1 025.10 <sup>c</sup> ±0.49	-0.48 <sup>c</sup> ±0.00	4.43 <sup>e</sup> ±0.01	0.74 <sup>c</sup> ±0.00
ESP1	1 024.04 <sup>d</sup> ±0.28	-0.47 <sup>b</sup> ±0.01	4.74 <sup>cd</sup> ±0.03	0.72 <sup>e</sup> ±0.00
ESP2	1 023.55 <sup>d</sup> ±0.34	-0.46 <sup>a</sup> ±0.00	5.17 <sup>a</sup> ±0.05	0.71 <sup>f</sup> ±0.00

<sup>a, b, c, d</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Tukey (n = 5; P ≤ 0.05). Los datos representan la media ± desviación estándar. PC = punto crioscópico. † = variables analizadas vía Kruskal-Wallis. COMI1 = San Pedro Comitancillo 1; COMI2 = San Pedro Comitancillo 2; IXT1 = Asunción Ixtaltepec 1; IXT2 = Asunción Ixtaltepec 2; ESP1 = El Espinal 1; ESP2 = El Espinal 2.

### Análisis fisicoquímicos de las leches

En los parámetros fisicoquímicos hay diferencias significativas en todos los resultados evaluados (P ≤ 0.05) (Cuadro 2). El contenido de proteínas (2.66–3.02 %) de las muestras está de acuerdo con los valores que marca la NOM<sup>(28)</sup> (2.8 a 3.1 %), excepto para las muestras ESP1 y ESP2. El contenido de grasa de las leches (4.05 a 7.24 %) cumple con el parámetro de referencia de la norma (≥ 3.2 %). Las muestras de leche analizadas no cumplen con las especificaciones que marca la NOM<sup>(28)</sup> para los SNG (8.3 %). De todas las muestras analizadas para el contenido de lactosa, la COMI2 (4.3 %) es la que cumple con los parámetros de referencia de la NOM<sup>(28)</sup> (4.3 a 5 %).

Respecto a la densidad y punto crioscópico (PC), los rangos de las leches estuvieron entre 1 023.55–1 027.15 kg/m<sup>3</sup> y -0.52 a -0.46 °C, respectivamente. Estos valores no cumplen con los valores establecidos en la NOM<sup>(28)</sup> que establece valores de densidad y PC de 1 029 kg/m<sup>3</sup> y -0.51 a -0.536 °C, respectivamente. Estos resultados podrían estar mediados por factores interrelacionados como que la alta proporción de grasa en las muestras reduce la densidad global de la leche. Además, la desviación del PC y la densidad, junto con los sólidos no grasos, sugieren agua añadida.<sup>(29)</sup>

Los valores de conductividad y contenido de las sales estuvieron dentro del rango de 4.43–5.18 mS/cm<sup>3</sup> y 0.71–0.80 % (Cuadro 2), respectivamente. En cuanto a la acidez, las leches con mayor acidez fueron COMI2 y ESP1 con valores de 1.92 y 1.98 g de ácido láctico/L, que excedieron los valores indicados en la NOM<sup>(28)</sup> (1.3–1.6 g de ácido láctico/L). En estos valores intervienen diversos factores como no mantener la leche a la temperatura adecuada de refrigeración o una inadecuada manipulación durante el almacenamiento o transporte, lo que propicia la contaminación de la leche por microorganismos. Esto se verifica con los análisis microbiológicos realizados a la leche, los cuales rebasaron los límites permitidos por las normas mexicanas.<sup>(19, 25)</sup> Noa-Pérez et al.<sup>(24)</sup> evaluaron leche cruda en el estado de Jalisco, México y encontraron que el 65.8 % de la leche tenía entre 1.3 a 1.6 g de ácido láctico/L.

**Cuadro 3.** Análisis microbiológico de quesos de los municipios del istmo de Tehuantepec, Oaxaca

Quesos	Mesófilos aerobios	Coliformes totales <sup>†</sup>	Hongos <sup>†</sup>	Levaduras	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella spp.</i>
COMI1	7.9 <sup>a</sup> ±0.5	4.4 <sup>a</sup> ±0.3	0.0 <sup>b</sup> ±0.0	3.7 <sup>a</sup> ±1.4	Presencia	Ausencia
COMI2	8.1 <sup>a</sup> ±0.0	4.2 <sup>a</sup> ±0.4	0.0 <sup>b</sup> ±0.0	3.3 <sup>a</sup> ±0.0	Ausencia	Ausencia
IXT1	7.7 <sup>a</sup> ±1.65	4.5 <sup>a</sup> ±0.8	2.0 <sup>a</sup> ±0.0	2.8 <sup>b</sup> ±0.1	Presencia	Ausencia
IXT2	7.8 <sup>a</sup> ±2.65	4.5 <sup>a</sup> ±0.5	2.0 <sup>a</sup> ±0.1	2.3 <sup>c</sup> ±0.3	Ausencia	Ausencia
ESP1	7.8 <sup>a</sup> ±0.50	0.0 <sup>c</sup> ±0.0	1.7 <sup>a</sup> ±0.5	3.5 <sup>a</sup> ±0.9	Ausencia	Ausencia
ESP2	7.7 <sup>a</sup> ±1.25	2.9 <sup>b</sup> ±0.1	2.0 <sup>a</sup> ±0.0	3.1 <sup>ab</sup> ±0.3	Presencia	Ausencia

Este análisis se estadió mediante Log<sub>10</sub> UFC/g.

<sup>a, b, c</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Tukey (n = 5; P ≤ 0.05).

Los datos representan la media ± desviación estándar. <sup>†</sup> = variables analizadas vía Kruskal-Wallis. COMI1 = San Pedro Comitancillo 1; COMI2 = San Pedro Comitancillo 2; IXT1 = Asunción Ixtaltepec 1; IXT2 = Asunción Ixtaltepec 2; ESP1 = El Espinal 1; ESP2 = El Espinal 2.

**Cuadro 4.** Análisis fisicoquímico de quesos de los municipios del istmo de Tehuantepec, Oaxaca

Quesos	Proteína (%) <sup>†</sup>	Grasa (%) <sup>†</sup>	Humedad (%) <sup>†</sup>	Ceniza (%) <sup>†</sup>	Aw (%)	pH
COMI1	35.31 <sup>a</sup> ±5.98	10.19 <sup>bc</sup> ±5.60	50.89 <sup>d</sup> ±0.33	3.60 <sup>b</sup> ±0.13	0.94 <sup>a</sup> ±0.00	5.25 <sup>b</sup> ±0.1
COMI2	27.46 <sup>b</sup> ±1.55	7.99 <sup>c</sup> ±1.55	61.42 <sup>a</sup> ±0.00	3.11 <sup>c</sup> ±0.03	0.94 <sup>a</sup> ±0.00	5.82 <sup>a</sup> ±0.29
IXT1	17.46 <sup>c</sup> ±1.11	21.60 <sup>a</sup> ±1.01	58.01 <sup>b</sup> ±0.15	2.99 <sup>c</sup> ±0.10	0.95 <sup>a</sup> ±0.00	5.65 <sup>a</sup> ±0.21
IXT2	23.50 <sup>b</sup> ±0.88	14.43 <sup>b</sup> ±2.43	57.80 <sup>b</sup> ±1.71	4.25 <sup>a</sup> ±0.05	0.94 <sup>a</sup> ±0.00	5.48 <sup>a</sup> ±0.14
ESP1	17.04 <sup>c</sup> ±1.45	22.22 <sup>a</sup> ±1.12	57.06 <sup>bc</sup> ±0.11	3.66 <sup>b</sup> ±0.11	0.93 <sup>b</sup> ±0.00	5.34 <sup>ab</sup> ±0.14
ESP2	18.94 <sup>c</sup> ±0.56	22.06 <sup>a</sup> ±0.32	56.21 <sup>c</sup> ±0.23	3.13 <sup>d</sup> ±0.63	0.93 <sup>b</sup> ±0.00	5.06 <sup>b</sup> ±0.04

<sup>a, b, c</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de mínima diferencia significativa (n = 5; P ≤ 0.05). ±/= desviación estándar. <sup>†</sup> = variables analizadas vía Kruskal-Wallis. COMI1 = San Pedro Comitancillo 1; COMI2 = San Pedro Comitancillo 2; IXT1 = Asunción Ixtaltepec 1; IXT2 = Asunción Ixtaltepec 2; ESP1 = El Espinal 1; ESP2 = El Espinal 2.

### Análisis microbiológicos y fisicoquímicos del queso

El queso de estos diferentes sistemas de producción no cumple con los límites máximos de microorganismos establecidos por la NOM.<sup>(30)</sup> Estas muestras presentaron una alta carga microbiana (mesófilos aerobios, coliformes totales, hongos, levaduras y *E. coli*) (Cuadro 3), debido a que los microorganismos en las leches con las que se elaboraron los quesos exceden los límites permitidos por la NOM.<sup>(28)</sup> Estos quesos estaban altamente contaminados, lo que podría provocar enfermedades transmitidas por los alimentos (ETA); sin embargo, se desconoce la incidencia de las ETA provocadas por el consumo de este queso en estas regiones. Es importante concientizar a los productores en el manejo de las buenas prácticas de higiene y sanidad con la finalidad de que obtengan un producto inocuo y puedan competir comercialmente en diferentes mercados.

Los quesos COMI1 (35.31 %) y COMI2 (27.46 %) presentaron los mayores niveles de proteína (P < 0.05) [Cuadro 4]. Estos valores son consistentes con los reportados por Silva-Paz et al. (27) en quesos frescos de Ojos Negros, Baja California, México (28.10–32.98 %), lo que sugiere que la leche utilizada en San Pedro Comitancillo posee un valor proteico alto o que el proceso de elaboración favorece la retención de las proteínas. En contraste, los quesos IXT1 (17.46 %) y ESP1 (17.04 %) mostraron contenidos bajos, similares a los registrados por Díaz et al.<sup>(2)</sup> en

quesos frescos comerciales (18–25 %), lo que podría deberse a diferencias en la alimentación del ganado o al grado de desuerado durante la fabricación.<sup>(27)</sup>

Los quesos ESP1, ESP2 e IXT1 presentaron los mayores niveles de grasa (22.22, 22.06 y 21.60 %, respectivamente), lo que indica una mayor retención de lípidos durante el procesamiento. Estos valores se encuentran dentro del rango reportado por Díaz et al.<sup>(2)</sup> para quesos frescos (12–32 %). Los bajos niveles de grasa en COMI1 y COMI2 (10.19 y 7.99 %) podrían reflejar un proceso de descremado parcial o diferencias en la composición lipídica de la leche cruda.<sup>(2)</sup> Todos los quesos superaron el 50 % de humedad, con valores máximos en COMI2 (61.42 %), seguido de IXT1 (58.01 %) e IXT2 (57.80 %). Estos resultados coinciden con los de De la Rosa-Alcaraz et al.,<sup>(3)</sup> quienes indican que los quesos frescos típicamente contienen entre 50–65 % de humedad. La alta humedad en COMI2 podría influir en su textura blanda y menor vida útil, ya que favorece el crecimiento microbiano.<sup>(31)</sup>

Los quesos IXT2 (4.25 %), ESP1 (3.66 %) y COMI1 (3.60 %) mostraron los mayores niveles de ceniza, lo que refleja un contenido mineral alto, posiblemente debido a la adición de sal o a la composición natural de la leche. Estos valores son comparables a los reportados por Díaz et al.<sup>(2)</sup> en quesos frescos mexicanos (3.2–3.8 %).

En relación con la  $A_w$ , se identificaron dos grupos ( $P < 0.05$ ). El primero, conformado por los quesos de COMI1, COM2, IXT1 e IXT2, con valores entre 0.94–0.99, mientras que el segundo, ESP1 y ESP2, con valores menores ( $A_w = 0.93$ ). Sin embargo, en el pH no se observaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre los quesos COMI2, IXT1, IXT2 y ESP1, cuyos valores fueron 5.8, 5.6, 5.4 y 5.3, respectivamente. La calidad fisicoquímica de los quesos puede atribuirse a diversos factores, entre los que destacan la composición de la leche y el proceso de elaboración en la producción del queso fresco tipo “cuajada”.<sup>(2, 32)</sup>

### **Análisis instrumental de color de los quesos**

Los resultados muestran que el queso ESP2 presentó la mayor luminosidad (93.45), mientras que COMI1 exhibió la menor (87.11). Esta variabilidad en  $L^*$  puede atribuirse a diferencias en el contenido de humedad, ya que quesos con mayor humedad tienden a reflejar más luz, lo que se traduce en una mayor luminosidad y menor saturación de color. Este hallazgo es consistente con estudios previos que vinculan la luminosidad con la microestructura del queso, donde una mayor retención de agua dispersa la luz de manera más eficiente, reduciendo la opacidad.<sup>(33, 34)</sup>

La implicación práctica de estos resultados radica en el control de calidad y aceptación sensorial. Quesos con mayor  $L^*$  pueden percibirse como más frescos o cremosos; esto es relevante para mercados que valoran atributos visuales.<sup>(33)</sup> No obstante, contrastando con trabajos como el de Wendorff et al.,<sup>(34)</sup> quienes observaron valores altos de  $L^*$  en quesos maduros, la luminosidad puede asociarse con una textura menos firme debido a la proteólisis, que afecta la estructura del queso haciéndolo más suave o menos cohesivo, lo que se refleja en un aumento de la luminosidad.

Los valores bajos de  $a^*$  (entre -2.42 y -3.04) indican ausencia de tonalidades rojas/verdes perceptibles, coincidiendo con García-Simões et al.<sup>(35)</sup> en quesos frescos brasileños. En contraste, los valores de  $b^*$  (15.10–19.99) confirman una dominancia amarilla, especialmente en COMI1, lo que podría relacionarse con la presencia de carotenoides o el tratamiento térmico de la leche.<sup>(35)</sup> La saturación ( $C^*$ ) y el ángulo de tonalidad ( $H^\circ$ ) cerca de  $80^\circ$  en COMI1 y COMI2 refuerzan esta tendencia hacia el amarillo, mientras que los quesos de Ixtaltepec (IXT1, IXT2) mostraron  $H^\circ$  ligeramente menores, sugiriendo diferencias en composición o procesamiento (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Análisis de color en quesos de los municipios del istmo de Tehuantepec, Oaxaca

Quesos	L*	a*	b*†	Croma†	H°†
COM1	87.11 <sup>d</sup> ± 0.29	-2.68 <sup>b</sup> ± 0.22	19.99 <sup>a</sup> ± 0.95	20.16 <sup>a</sup> ± 0.98	82.32 <sup>a</sup> ± 0.27
COM2	90.25 <sup>c</sup> ± 0.84	-3.04 <sup>c</sup> ± 0.17	15.94 <sup>bc</sup> ± 0.49	16.23 <sup>bc</sup> ± 0.52	82.83 <sup>a</sup> ± 6.19
IXT1	91.85 <sup>b</sup> ± 0.33	-2.87 <sup>bc</sup> ± 0.09	15.50 <sup>c</sup> ± 0.26	15.77 <sup>c</sup> ± 0.27	79.47 <sup>a</sup> ± 0.26
IXT2	92.41 <sup>ab</sup> ± 0.33	-2.94 <sup>c</sup> ± 0.01	16.78 <sup>b</sup> ± 0.12	17.03 <sup>b</sup> ± 0.12	79.78 <sup>a</sup> ± 0.52
ESP1	91.02 <sup>bc</sup> ± 1.17	-2.63 <sup>ab</sup> ± 0.04	15.77 <sup>bc</sup> ± 0.40	15.99 <sup>bc</sup> ± 0.40	80.52 <sup>a</sup> ± 0.11
ESP2	93.45 <sup>a</sup> ± 1.01	-2.42 <sup>a</sup> ± 0.04	15.10 <sup>c</sup> ± 0.82	15.29 <sup>c</sup> ± 0.81	80.84 <sup>a</sup> ± 0.38

a, b, c, d Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Tukey (n = 5; P ≤ 0.05). Los datos representan la media ± desviación estándar. L\* = luminosidad; a\* = variación entre verde (-a) y rojo (+a); b\* = varianza entre azul (-b) y amarillo (+b); Croma = saturación del color; H° = ángulo de tonalidad. † = variables analizadas vía Kruskal-Wallis. COM1 = San Pedro Comitancillo 1; COM2 = San Pedro Comitancillo 2; IXT1 = Asunción Ixtaltepec 1; IXT2 = Asunción Ixtaltepec 2; ESP1 = El Espinal; ESP2 = El Espinal.

**Cuadro 6.** Análisis del perfil de textura en quesos de los municipios del istmo de Tehuantepec, Oaxaca

Quesos	Dureza (N) †	Cohesividad†	Gomosidad†	Elasticidad†	Masticabilidad†
COM1	7.08 <sup>c</sup> ± 2.26	-0.01 <sup>a</sup> ± 0.20	2.28 <sup>a</sup> ± 0.46	0.573 <sup>a</sup> ± 0.51	0.22 <sup>a</sup> ± 0.46
COM2	5.74 <sup>c</sup> ± 2.35	-0.06 <sup>a</sup> ± 0.03	0.46 <sup>a</sup> ± 0.63	0.61 <sup>a</sup> ± 0.49	0.45 <sup>a</sup> ± 0.64
IXT1	10.85 <sup>bc</sup> ± 4.55	-1.71 <sup>ab</sup> ± 2.14	1.88 <sup>a</sup> ± 1.58	0.79 <sup>a</sup> ± 0.44	1.88 <sup>a</sup> ± 1.58
IXT2	9.51 <sup>bc</sup> ± 2.86	-1.39 <sup>ab</sup> ± 1.79	0.37 <sup>a</sup> ± 0.84	0.44 <sup>a</sup> ± 0.45	0.37 <sup>a</sup> ± 0.84
ESP1	24.43 <sup>b</sup> ± 4.61	-3.71 <sup>a</sup> ± 3.85	5.01 <sup>a</sup> ± 7.11	0.46 <sup>a</sup> ± 0.50	5.02 <sup>a</sup> ± 7.08
ESP2	50.19 <sup>a</sup> ± 0.91	-0.00 <sup>b</sup> ± 0.00	0.00 <sup>a</sup> ± 0.00	0.00 <sup>a</sup> ± 0.00	0.00 <sup>a</sup> ± 0.00

a, b, c Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Tukey (n = 5; P ≤ 0.05). Los datos representan media ±/= desviación estándar. † = variables analizadas vía Kruskal-Wallis. COM1 = San Pedro Comitancillo 1; COM2 = San Pedro Comitancillo 2; IXT1 = Asunción Ixtaltepec 1; IXT2 = Asunción Ixtaltepec 2; ESP1 = El Espinal 1; ESP2 = El Espinal 2.

### Análisis instrumental de textura de los quesos

El parámetro de dureza mostró diferencia estadística significativa (P < 0.05) entre los distintos quesos evaluados. La muestra ESP2 (50.19 N) presentó el valor más alto de dureza, esto puede deberse a que su matriz proteica es más rígida, posiblemente por una menor actividad proteolítica o un mayor contenido de caseína.<sup>(29, 30)</sup> Los valores de dureza de todos los quesos, con excepción de la muestra ESP2, son inferiores a los encontrados por Ballesta-Rodríguez<sup>(36)</sup> y Guzmán et al.,<sup>(37)</sup> quienes reportaron valores promedio de dureza de 26.53 y 16 N. En este sentido, los quesos del municipio El Espinal (ESP1 y ESP2) tuvieron mayor resistencia (P < 0.05) a la deformación, gomosidad y masticabilidad; este efecto puede asociarse con el alto contenido de humedad haciendo que el queso tenga cierto grado de firmeza.<sup>(38)</sup>

Además, los valores de gomosidad (0–5.01) y masticabilidad (0–5.02) de los quesos sugieren que estos requieren mayor energía para su fractura, lo que los hace ideales para aplicaciones culinarias que demandan resistencia al calor. Respecto a la cohesión, solamente el queso de San Pedro Comitancillo (COM1 y COM2) presentó valores altos (P < 0.05), este efecto está asociado con el contenido de humedad, ya que, a mayor humedad, mayor es la fuerza ejercida por los enlaces internos del queso.<sup>(39)</sup> Con los hallazgos obtenidos, se pone en evidencia el impacto de las prácticas usadas en los sistemas de producción para la elaboración del queso fresco tipo cuajada. Sin embargo, una de las limitaciones de esta investigación es la falta de estudios sensoriales, que permitan definir los atributos sensoriales y los aspectos cognitivos como las emociones y los recuerdos que den respuesta a las reacciones de preferencia o de rechazo de los consumidores de cada queso artesanal representativo de la región del istmo de Tehuantepec, Oaxaca (Cuadro 6).

## Conclusiones

Los sistemas de producción analizados son predominantemente familiares, con productores de edad avanzada (media de 53 años) y niveles de escolaridad que incluyen estudios superiores concluidos. Los hatos bovinos varían entre 64 y 187 cabezas, con razas dominantes como Cebú, suizo e indubrasil, y una producción diaria de leche entre 100 y 168 litros. La leche cruda no cumple con los límites microbiológicos establecidos por las normas oficiales mexicanas, conteniendo altas cargas de mesófilos aerobios, coliformes totales, levaduras y, en algunos casos, *Escherichia coli* y *Brucella abortus*. Esto indica deficiencias en las prácticas de higiene durante el ordeño, almacenamiento y transporte.

El queso se clasifica como fresco, con alto contenido de humedad (50–61 %) y variabilidad en proteína (17–35 %) y grasa (8–22 %). Estos resultados reflejan diferencias en la composición de la leche y en los procesos de elaboración, como el desuerado y la adición de sal. Los resultados de color y textura son de alta luminosidad con poca resistencia al corte. En función de estos hallazgos, este estudio proporciona una base científica para entender las características y los desafíos en la producción de leche y queso fresco tipo cuajada en la región del istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Los hallazgos resaltan la importancia de intervenciones técnicas para mejorar la calidad y seguridad de estos productos, preservando al mismo tiempo su valor cultural y tradicional.

---

## Disponibilidad de datos

Todos los datos relevantes están contenidos en el documento.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los productores de la región del istmo de Tehuantepec por la asesoría y donación de las muestras analizadas en esta investigación.

## Financiamiento

El presente estudio no recibió financiación de ninguna agencia.

## Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés con respecto a esta publicación.

## Contribuciones de los autores

Conceptualización: EJ Ramírez-Rivera, LG Ramón-Canul, VD Cuervo-Osorio.

Curación de datos: EJ Ramírez-Rivera, VD Cuervo-Osorio, G. Hernández-Salinas, J Armida-Lozano, J Valdivia-Sánchez.

Análisis formal: LG Ramón-Canul, A Cabal-Prieto, F Uribe-Cuauhtzihua, JC Hernández-Arzaba, J Armida-Lozano.

Metodología: R Santiago-Cabrera, F Uribe-Cuauhtzihua, JC Hernández-Arzaba, DS Sosa-Gutiérrez, AJ Chay-Canul, J Valdivia-Sánchez, J Armida-Lozano.

Supervisión: EJ Ramírez-Rivera, LG Ramón-Canul, A Cabal-Prieto, VD Cuervo-Osorio.

Escritura del manuscrito: EJ Ramírez-Rivera, R Santiago-Cabrera, VD Cuervo-Osorio, A Cabal-Prieto.

Escritura–revisión y edición: EJ Ramírez-Rivera, VD Cuervo-Osorio, LG Ramón-Canul, A Cabal-Prieto.

## Referencias

1. Carrascosa C, Millán R, Saavedra P, Raduán JJ, Raposo A, Sanjuán E. Identification of the risk factors associated with cheese production to implement the hazard analysis and critical control points (HACCP) system on cheese farms. *Journal of Dairy Science*. 2016;99(4):2606–2616. doi: 10.3168/jds.2015-10301.
2. Díaz GEP, Valladares CB, Gutiérrez CAC, Arriaga JCM, Quintero-Salazar B, Cervantes AP, *et al*. Caracterización de queso fresco comercializado en mercados fijos y populares de Toluca, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2017;8(2):139–146. doi: 10.22319/rmcp.v8i2.4419.
3. De la Rosa-Alcaraz MA, Ortiz-Estrada AM, Heredia-Castro PY, Hernández-Mendoza A, Reyes-Díaz R, Vallejo-Cordoba B, *et al*. Poro de Tabasco cheese: Chemical composition and microbiological quality during its artisanal manufacturing process. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(4):3025–3037. doi: 10.3168/jds.2019-17363.
4. Sánchez-Valdés JJ, Colín-Navarro V, López-González F, Avilés-Nova F, Castelán-Ortega OA, Estrada-Flores JG. Diagnóstico de la calidad sanitaria en las queserías artesanales del municipio de Zacazonapan, Estado de México. *Salud Pública de México*. 2016;58(4):461–467. doi: 10.21149/spm.v58i4.8027.
5. González-Córdova AF, Yescas C, Ortiz-Estrada AM, de la Rosa-Alcaraz MA, Hernández-Mendoza A, Vallejo-Cordoba B. Invited review: Artisanal Mexican cheeses. *Journal of Dairy Science*. 2016;99(5):3250–3262. doi: 10.3168/jds.2015-10103.
6. Durán E. Estudio del consumo de leche y sus derivados en el municipio de Oaxaca de Juárez (HTML). *Revista Mexicana de Agronegocios*. 2016;XX(39): 441–450. <https://www.redalyc.org/journal/141/14149188007/html/>
7. Mendoza A, Ortega J. Caracterización de la caprinocultura en el municipio de Tepelmeme Villa de Morelos, Oaxaca, México (PDF). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 2009;8(1):75–80. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545064011>
8. Camacho ME, Gómez MS, Alferez B, Gasca A, Delgado JV. Evaluación del sistema de explotación en un núcleo de caprino lechero autóctono (PDF). *Archivos de Zootecnia*. 2002;51(194):259–264. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49519433.pdf>
9. Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-109-SSA1-1994. Bienes y servicios. Procedimientos para la Toma, Manejo y Transporte de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico. 1994. Ciudad de México: DOF; 1994. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4758571&fecha=04/11/1994#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4758571&fecha=04/11/1994#gsc.tab=0)
10. Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis*. 18th edition. Arlington, VA, USA; 2005.
11. Normas Oficiales Mexicanas. NOM-092-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Métodos para la Cuenta de Bacterias Aerobias en Placa (PDF). Ciudad de México: DOF; 1994. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4886029&fecha=12/12/1995#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4886029&fecha=12/12/1995#gsc.tab=0)
12. Normas Oficiales Mexicanas. NOM-113-SSA1-1994. Bienes y servicios. Métodos para la Cuenta de Microorganismos Coliformes Totales en Placa (PDF). Ciudad de México: DOF; 1994. <https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69536.pdf>
13. Normas Oficiales Mexicanas. NOM-210-SSA1-1994. Productos y Servicios. Métodos de Prueba Microbiológicos. Determinación de Microorganismos Indicadores. Determinación de Microorganismos Patógenos. Ciudad de México: DOF; 1994. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5398468&fecha=26/06/2015#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5398468&fecha=26/06/2015#gsc.tab=0)
14. Normas Oficiales Mexicanas. NOM-115-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la Determinación de *Staphylococcus aureus* en Alimentos. Ciudad de México: DOF; 1994. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4869580&fecha=20/02/1995#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4869580&fecha=20/02/1995#gsc.tab=0)

15. Proyecto de Norma Oficial Mexicana. NOM-114-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la Determinación de Salmonella (*sic.*) en Alimentos. Ciudad de México: DOF; 1994. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4728936&fecha=15/08/1994#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4728936&fecha=15/08/1994#gsc.tab=0)
16. Normas Oficiales Mexicanas. NOM-041-ZOO-1995. Campaña Nacional contra la Brucelosis en los Animales. 1995. Ciudad de México: DOF; 1995. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4896374&fecha=20/08/1996#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4896374&fecha=20/08/1996#gsc.tab=0)
17. Organización Mundial de Sanidad Animal. Manual de Normas para las Pruebas Diagnóstico y las Vacunas para Animales Terrestres de la OMSA (PDF). Brucelosis. 2018. <https://www.woah.org/app/uploads/2021/03/3-01-04-brucell.pdf>
18. Gerber N. Tratado Práctico de los Análisis de la Leche y del Control de los Productos Lácteos. 11a edición. Madrid, España: Dossat; 1994. 230 pp.
19. Delgado FJ, González-Crespo J, Cava R, Ramírez R. Proteolysis, texture, and color of a raw goat milk cheese throughout the maturation. *European Food Research and Technology*. 2011;233:483–488. doi: 10.1007/s00217-011-1536-3.
20. StatPoint Technologies, Inc. Statgraphics Centurion, versión xv. Warrenton, VA, EE. UU: StatPoint Technologies, Inc.; 2005.
21. Addinsoft. XLSTAT, versión 2021. París, Francia: Addinsoft; 2021.
22. Norma Mexicana. PROY-NMX-F-700-COFOCALEC-2019. Sistema Producto Leche-Alimento-Lácteo-Leche Cruda de Vaca-Especificaciones Fisicoquímicas, Sanitarias y Métodos de Prueba. Ciudad de México: DOF; 2019. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5617455&fecha=04/05/2021#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5617455&fecha=04/05/2021#gsc.tab=0)
23. Iñiguez-Muñoz LE, Valencia-Botín AJ, Anaya-Esparza LM, Anzaldo-Ortega RE, Pliego-Sandoval JE, Reyes-Nava LA, *et al.* Leche cruda de vaca destinada a la elaboración de productos artesanales: calidad microbiológica y fisicoquímica. *Biotecnia*. 2022;24(3):28–34. doi: 10.18633/biotecnia.v24i3.1635.
24. Noa-Pérez M, Landeros-Ramírez P, Gómez-Cruz Z, González-Aguilar DG, Real-Navarro M, Medina-Lerena MS, *et al.* Incidencia de adulterantes en leches cruda y pasteurizada en el estado de Jalisco, México. *Revista Electrónica de Ciencias Biológicas y Agropecuarias*. 2019;12(6):15–28. doi: 10.32870/e-cucba.v0i12.133.
25. Normas Oficiales Mexicanas. NOM-243-SSA1-2010. Productos y Servicios. Leche, Formulada Láctea, Producto Lácteo, Combinado y Derivados Lácteos. Disposiciones y Especificaciones Sanitarias. Métodos de Prueba (HTML). Ciudad de México: DOF; 2010. <https://dof.gob.mx/normasOficiales/4156/salud2a/salud2a.htm>
26. De la Cruz EG, Díaz PS, Bonifaz N. Gestión de la calidad de leche de pequeños y medianos ganaderos de centros de acopio y queserías artesanales, para la mejora continua. Caso de estudio: Carchi, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. 2018;27(1):124–136. doi: 10.17163/lgr.n27.2018.10.
27. Silva-Paz LE, Medina-Basulto GE, López-Valencia G, Montañón-Gómez MF, Villa-Angulo R, Herrera-Ramírez JC, *et al.* Caracterización de la leche y queso artesanal de la región de Ojos Negros, Baja California, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2020;11(2):553–564. doi: 10.22319/rmcp.v11i2.5084.
28. Norma Mexicana. NMX-F-700-COFOCALE-2004. Sistema Producto Leche-Alimento-Lácteo-Leche Cruda de Vaca-Especificaciones Fisicoquímicas, Sanitarias y Métodos de Prueba. 2004. Ciudad de México: DOF; 2004. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=669636&fecha=23/06/2004#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=669636&fecha=23/06/2004#gsc.tab=0)
29. Ramírez-Rivera EJ, Ramón-Canul L, Torres-Hernández G, Herrera-Corredor JA, Juárez-Barrientos JM, Rodríguez-Miranda J, *et al.* Tipificación de quesos madurados de cabra producidos en la zona montañosa central del estado de Veracruz, México. *Agrociencia*. 2018;52(1):15–34.

30. Normas Oficiales Mexicanas. NOM-121-SSA1-1996. Bienes y Servicios. Quesos: Frescos, Madurados y Procesados. Especificaciones sanitarias. Ciudad de México: DOF; 1996. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4872312&fecha=23/02/1996#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4872312&fecha=23/02/1996#gsc.tab=0)
31. Magenis RB, Prudêncio SE, Fritzen-Freire CB, Stephan PM, do Egito AS, Daguer H. Rheological, physicochemical, and authenticity assessment of Minas Frescal cheese. *Food Control*. 2014;45:22–28. doi: 10.1016/j.foodcont.2014.04.012.
32. Juárez-Barrientos JM, Díaz-Rivera P, Ramírez-Rivera EJ, Rodríguez-Miranda J, Martínez-Sánchez CE, Carmona-García R, *et al.* Traditional ranchoero Jarocho cheese: a multidisciplinary study from a typicity approach. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2021;12(2):353–369. doi: 10.22319/rmcp.v12i2.5230.
33. Hubbard EM, Jervis SM, Drake MA. The effect of extrinsic attributes on (*sic*)liking of cottage cheese. *Journal of Dairy Science*. 2016;99(1):183–193. doi: 10.3168/jds.2015-9547.
34. Wendorff WL, Kalit S. Chapter 3.3. Processing of sheep milk. In: Park YW, Haenlein GFW, Wendorff WL, editors. *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*. 2nd edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2017. p. 222–259.
35. García-Simões M, Rabelo J, Portal RE, Nogueira AF, Oliveira EB, Fortes CL. Physicochemical properties of Butter cheese from Marajó, manufactured with buffalo milk and cow milk. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 2013;5(3):83–88. doi: 10.9790/2402-0538388.
36. Ballesta RI. Evaluación de la calidad del queso costeño elaborado con diferentes tipos de cuajo (animal y microbiano) y la adición o no de cultivos lácticos (*Lactococcus lactis* subps. *Lactis* y *Lactococcus lactis* subps. *Cremoris*) [tesis de maestría]. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia; 2014.
37. Guzmán LE, Tejada C, de la Ossa JY, Rivera CA. Análisis comparativo del perfil de textura de quesos frescos de la leche de cabra y de vaca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2015;13(1):139–147. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612015000100016&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612015000100016&lng=en&nrm=iso)
38. Simões M, Rabelo J, Portal RE, Nogueira AF, Oliveira EB, Fortes CL. Physicochemical properties of Butter cheese from Marajó manufactured with buffalo milk and cow milk. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 2013;5(3):83–88. doi: 10.9790/2402-0538388.
39. Chacón A. Aspectos nutricionales de la leche de cabra (*Capra hircus*) y sus variaciones en el proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana*. 2005;16(2):239–252. doi: 10.15517/am.v16i2.11878.