



Caracterización fisicoquímica y sensorial de queso fresco ‘Molido’ de leche de vacas alimentadas con ensilado de sorgo o maíz



Carla Ivonne Ortega-González ^a

Angélica Espinoza-Ortega ^b

Laura Patricia Sánchez-Vega ^c

Aurora Sainz-Ramírez ^b

Felipe López-González ^b

Carlos Manuel Arriaga-Jordán ^{b*}

^a Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco. Tianguistenco, Estado de México, México.

^b Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Campus UAEMéx El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090, Toluca, Estado de México, México.

^c Instituto de Ecología, AC. Xalapa, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia: cmarriagaj@uaemex.mx

Resumen:

La dieta de las vacas afecta los productos lácteos por las características fisicoquímicas y sensoriales de la leche producida. El ensilado de sorgo es una alternativa para sistemas de producción de leche en pequeña escala en los valles altos de México ante cambios en las lluvias y periodos de sequía. El forraje de sorgo contiene taninos que podrían afectar la composición y características sensoriales del queso. El objetivo fue evaluar queso fresco ‘Molido’ elaborado con leche de vacas alimentadas con base en 80 % de ensilado de sorgo – 20 % de ensilado de maíz para el componente de ensilado en la dieta (tratamiento SORGO)

comparado contra 100 % de ensilado de maíz (tratamiento MAÍZ). Se analizó la composición fisicoquímica mediante un diseño completamente aleatorio. La evaluación sensorial utilizó una escala Likert analizada con Kruskal-Wallis, y preferencia del queso con Ji-cuadrada (χ^2). Hubo diferencias ($P<0.05$) entre quesos para contenido de grasa (SORGO 25.3% vs MAÍZ 24.9 %), proteína (SORGO 17.6 % vs MAÍZ 16.3 %) y cenizas (MAÍZ 2.4 % vs SORGO 2.9 %). En análisis sensorial hubo diferencias ($P<0.05$) para sabor (SORGO 3.4 vs MAÍZ 4.0), textura en boca (SORGO 3.4 vs MAÍZ 3.7) y persistencia de aromas (SORGO 2.3 vs MAÍZ 2.1). Sin embargo, en preferencia general, el queso de SORGO fue preferido ($P<0.05$) por los consumidores (53 %). La preferencia por queso hecho con leche de vacas alimentadas con una base forrajera de ensilado de sorgo representa una alternativa para productores en pequeña escala cuya leche se destina para la producción artesanal de queso fresco ‘Molido’.

Palabras clave: Percepción sensorial, Preferencias de consumidores, Taninos condensados, Jueces no entrenados, Prueba hedónica.

Recibido: 02/01/2025

Aceptado: 09/09/2025

Introducción

El queso es uno de los alimentos más consumidos en el mundo⁽¹⁾, con una producción global superior a 19 millones de toneladas, con una demanda creciente en países en desarrollo que favorece a los productores en pequeña escala^(2,3), que a su vez estimulan la actividad económica y creación de empleo en sus comunidades^(4,5). Diversos factores tienen influencia en la composición final y la calidad de los quesos, como es la dieta de las vacas, la composición inicial de la leche, y los tiempos y procesos de maduración^(6,7).

La producción de leche en los valles altos del centro de México es principalmente por sistemas en pequeña escala, definidos como pequeñas fincas con hatos entre 3 y 35 vacas más sus remplazos, que basan su operación en la fuerza de trabajo familiar⁽⁸⁾. La mayoría venden su leche a productores locales que la procesan en productos lácteos artesanales, principalmente quesos, con una tipicidad ligada al territorio y el resultado del saber hacer local, su cultura y la historia de la región^(5,9).

La dieta de las vacas se basa cada vez más en ensilado de maíz⁽¹⁰⁾ como un forraje de calidad para mantener los rendimientos de leche en la época seca de invierno. Sin embargo, el cultivo de maíz para ensilar requiere de una adecuada precipitación pluvial⁽¹¹⁾. La disponibilidad de

agua de riego está cada vez más restringida⁽¹²⁾ debido tanto a la gran demanda como a varios años de baja precipitación aunado a posibles efectos del cambio climático con disrupción del patrón de lluvias con periodos secos más largos; todo lo cual requiere de la evaluación de alternativas forrajeras mejor adaptadas⁽¹³⁾.

Un forraje alternativo es el sorgo (*Sorghum bicolor* L.), un cereal tropical originario de África que se adapta a bajas precipitaciones y sequía⁽¹⁴⁾. El sorgo para grano y forraje se utiliza ampliamente en México en las zonas de temperaturas cálidas tropicales de baja altitud⁽¹⁴⁾, pero no ha sido evaluado en las regiones templadas de los valles altos del centro de México; y que puede ser una alternativa, ya que ha sido promovido en regiones templadas de Italia⁽¹⁵⁾, Galicia⁽¹⁶⁾, y Canadá⁽¹⁷⁾ como una fuente de forraje valiosa para superar los problemas de restricciones hídricas mencionadas.

Así mismo, el forraje de sorgo contiene metabolitos secundarios (polifenoles y taninos), los cuales interactúan con proteínas y carbohidratos afectando su digestibilidad ruminal⁽¹⁸⁾. Estudios demuestran que concentraciones moderadas (2-4 % de materia seca) reducen la degradación proteica ruminal mediante complejos tanino-proteína, aumentando el flujo de aminoácidos esenciales al intestino⁽¹⁹⁾. Este mecanismo puede tener un efecto en la composición fisicoquímica de la leche y el queso⁽²⁰⁾ y en la percepción sensorial, donde los taninos modifican el perfil de ácidos grasos^(21,22) que contribuye a cambios sensoriales del queso⁽²³⁾. Dado que la elaboración de queso es el principal destino de la leche en los sistemas en pequeña escala, se hace necesario evaluar los efectos que pueda tener en las propiedades del queso. Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue evaluar la composición fisicoquímica y las características sensoriales de queso fresco elaborado con leche de vacas alimentadas con dietas basadas en ensilados de sorgo o de maíz.

Material y métodos

Área de estudio

El trabajo se llevó a cabo en colaboración con una quesería en pequeña escala donde se elaboran de manera artesanal quesos típicos mexicanos, ubicada en el municipio de Aculco en el Estado de México, en la región de los Valles Altos del centro de México. Aculco se localiza entre las coordenadas 20° 00' - 20° 17' N y 99° 40' - 100° 00' W, a una altitud entre los 2,000 y 3,000 m, con un clima templado subhúmedo⁽²⁴⁾. La región, los sistemas de producción y el sistema leche-queso han sido descritos en otras publicaciones^(11,12,25).

Diseño de la investigación

La leche utilizada para la elaboración de quesos provino de un experimento participativo en finca con un productor de leche en pequeña escala, mediante un diseño totalmente aleatorizado con duración de 28 días, los cuales se encuentran en concordancia con otros experimentos en períodos de 28 días para desempeño productivo⁽²⁶⁾ y 21 días para evaluación sensorial de queso⁽²⁷⁾, con ocho vacas lecheras Holstein. Los criterios de selección de las vacas fueron el rendimiento diario de leche, días en leche, y peso vivo.

El número reducido de vacas experimentales está relacionado con el pequeño tamaño de los hatos en los sistemas de producción en pequeña escala. No obstante, lo anterior, el experimento tuvo una potencia estadística de 0.67, dando validez a los resultados. Además, al ser un experimento en finca permite la adopción de los resultados al desarrollarse en el contexto en que operan estos sistemas, así como su difusión entre productores mediante comunicación directa a una distancia hasta de 30 km⁽²⁸⁾.

Las vacas se dividieron en dos grupos evaluando dos dietas basadas en ensilados. Un grupo recibió el tratamiento SORGO= 7.6 kg de materia seca (MS)/vaca/día de ensilado de sorgo variedad Caña Dulce + 1.9 kg MS vaca⁻¹ día⁻¹ de ensilado de maíz (80 % ensilado de sorgo y 20 % ensilado de maíz en MS en cuanto al componente de ensilado de la dieta). El otro grupo recibió el tratamiento MAÍZ= 9.5 kg MS vaca⁻¹ día⁻¹ de ensilado de maíz en cuanto al componente de ensilado de la dieta.

Todas las vacas recibieron también 4.0 kg en fresco (3.6 kg MS) vaca⁻¹ día⁻¹ de un alimento concentrado comercial y 2.4 kg MS/vaca/día de heno de alfalfa, y 2.4 kg MS vaca⁻¹ día⁻¹ de rastrojo de maíz, por decisión del productor colaborante que se respetó como premisa de la investigación participativa rural. Los resultados del desempeño animal y composición de forrajes y alimentos son reportados en otro trabajo⁽²⁸⁾.

En el último día del experimento, se recolectaron 57 L de leche de cada tratamiento de las ordeñas de mañana y tarde, que se mantuvieron en refrigeración, y transportadas a la quesería artesanal; a partir de lo cual se elaboraron los quesos evaluados, siguiendo los procedimientos descritos por varios autores^(29,30,31), en cuanto a la elaboración de los quesos evaluados a partir del conjunto de leche producida por tratamiento.

Proceso de elaboración del queso

Se elaboraron quesos frescos del tipo 'Molido' de Aculco de la manera tradicional. Este queso es el más representativo del área de estudio^(5,32). Se trata de un queso fresco, no prensado, y caracterizado por una consistencia granular suave, con un sabor ligeramente

ácido, y comercializado principalmente en formato de prismas rectangulares. El nombre 'Molido' proviene del procesamiento donde la cuajada se deja reposar por 24 h para ser posteriormente molida en un molino de piedra antes de ser colocado en moldes⁽⁵⁾.

Se siguió la práctica usual de elaboración del queso 'Molido'⁽²⁹⁾. La leche se calienta a 35 °C y se agregan 3 g L⁻¹ de cloruro de calcio, así como 5 ml L⁻¹ de cuajo sintético. Treinta minutos después, la cuajada se corta en cubos de aproximadamente 1 cm³ y se drena el suero, dejando los cubos de cuajada drenar por 24 h; se añade sal (15 g kg⁻¹), y se muele en un molino de piedra. La cuajada molida se depositó en moldes rectangulares de acero inoxidable con capacidad aproximada de 500 g. Los quesos fueron codificados, empacados al vacío, y mantenidos en refrigeración para los análisis de laboratorio y sensoriales. Se elaboraron 11 quesos en formato de prisma rectangular de aproximadamente 500 g por cada tratamiento.

Composición fisicoquímica

Los análisis fisicoquímicos se realizaron a partir de muestras de 150 g por triplicado de cada queso para humedad, pH, ceniza, proteína y grasa, siguiendo las normas mexicanas: NOM-116-SSA1⁽³³⁾ para humedad; NMX-F-099⁽³⁴⁾ para pH; NMX-F-066-S⁽³⁵⁾ para cenizas. El contenido de proteína se determinó por el método Kjeldahl⁽³⁶⁾, y el contenido de grasa por el método Soxhlet⁽³⁷⁾. El rendimiento de queso se expresó como kilos de queso 10 kg⁻¹ de leche.

Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se llevó a cabo con 132 jóvenes estudiantes universitarios consumidores de queso (jueces no entrenados), siendo adecuado el número de jueces para esta prueba Drake⁽³⁸⁾.

Cada queso se cortó en cubos de aproximadamente 20 g y colocados en platos de cartón blanco y cada muestra codificada con tres dígitos aleatorios. Cada participante tuvo pan blanco y agua para limpiar el paladar entre evaluaciones. Se llevaron a cabo dos pruebas, una para aceptación (atributos sensoriales) y una para preferencia general. La aceptación fue evaluada con una escala Likert de cinco puntos, donde los valores correspondieron a: 1= no me gusta; 2= me gusta poco; 3= ni me gusta ni me disgusta; 4= me gusta; y 5= me gusta mucho⁽³⁹⁾. Los atributos evaluados fueron apreciación visual, textura en mano, olor, sabor, textura en boca, aromas y retrogusto⁽²⁹⁾. La preferencia se determinó preguntando a los participantes que muestra de queso prefirieron más.

En evaluación sensorial, los panelistas no fueron informados sobre el tipo de queso que estaban evaluando hasta después de finalizar el ejercicio. Esta estrategia se utilizó precisamente para evitar sesgos relacionados con percepciones previas, familiaridad o

asociaciones culturales, y asegurar una valoración basada únicamente en las características organolépticas del producto.

Análisis estadístico

Un análisis de varianza se aplicó a las variables fisicoquímicas bajo un diseño totalmente aleatorio⁽⁴⁰⁾ con el siguiente modelo:

$Y_{ij} = \mu_i + t_j + e_{ij}$, donde μ = media general; t = efecto de tratamientos ($i = 1, 2$), y e = variación residual.

El análisis se efectuó tomando los valores medios de las tres determinaciones por queso. Los atributos sensoriales se analizaron con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis que es válida para la comparación de dos o más muestras independientes⁽⁴¹⁾, y las preferencias de los quesos mediante la prueba de Ji-cuadrada (χ^2)⁽³⁹⁾.

Resultados

Composición fisicoquímica

El Cuadro 1 muestra los resultados de la composición fisicoquímica de los quesos por tratamiento, con diferencias significativas ($P < 0.05$) para contenido de proteína, grasa y cenizas, y diferencias no significativas ($P > 0.05$) para contenido de humedad y pH. El contenido de proteína y grasa fue mayor en el tratamiento SORGO, mientras que el contenido de cenizas fue mayor en el tratamiento MAÍZ. El rendimiento de queso fue de 1.14 kg 10 kg^{-1} de leche para el tratamiento MAÍZ y de 1.12 kg queso 10 kg^{-1} de leche para el tratamiento SORGO.

Cuadro 1: Composición fisicoquímica del Queso “Molido” por tratamiento de alimentación

Variable	Tratamientos			Valor de P
	MAÍZ	SORGO	EEM	
Proteína, %	16.3	17.6	0.193	0.000
Grasa, %	24.9	25.3	0.0650	0.027
Humedad, %	46.1	46.6	0.304	0.246
Cenizas, %	2.9	2.4	1.187	0.004
pH	4.7	4.7	0.025	0.235

MAÍZ= tratamiento con ensilado de maíz; SORGO= tratamiento con ensilado de sorgo; EEM: error estándar de la media.

Evaluación sensorial

El Cuadro 2 presenta las puntuaciones para los atributos sensoriales evaluados, donde se detectaron diferencias significativas ($P<0.05$) en sabor, textura en boca y persistencia de aromas, con valores mayores para el tratamiento MAÍZ. Si bien las medianas y los rangos intercuartílicos parecen ser similares entre tratamientos, las diferencias identificadas mediante la prueba Kruskal-Wallis reflejan variaciones en la distribución de las respuestas dadas por los consumidores. Esto ocurre porque, en datos no paramétricos, valores centrales similares no implican distribuciones iguales; pueden existir variaciones en cómo se concentran las respuestas a lo largo de la escala de Likert, lo que refleja percepciones sensoriales distintas entre tratamientos. Asimismo, se observó una tendencia ($P=0.06$) hacia una mejor valoración en el atributo olor para el tratamiento MAÍZ, sin que se presentaran diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$).

Cuadro 2: Puntuaciones de los atributos sensoriales del Queso “Molido” en la escala Likert de cinco puntos

Atributo	Tratamientos				Valor H	Valor P
	MAÍZ		SORGO			
	Mediana	RIQ	Mediana	RIQ		
Color	4.0	0	4.0	0	0.99	0.321
Apreciación visual	4.0	1	4.0	1	0.05	0.831
Textura en mano	4.0	1	4.0	1	0.04	0.843
Olor	4.0	2	3.5	1	3.43	0.064
Sabor	4.0	2	4.0	2	4.50	0.034*
Textura en boca	4.0	1	4.0	1	7.75	0.005*
Aromas	4.0	1	4.0	1	1.41	0.235
Retrogusto	4.0	1	4.0	1	0.65	0.420
Persistencia del aroma	2.0	1	2.0	1	9.64	0.002*

Valor H= estadístico de prueba de Kruskal-Wallis. RIQ= rango intercuartílico. MAÍZ= tratamiento con ensilado de maíz; SORGO= tratamiento con ensilado de sorgo.

* Diferencias significativas ($P<0.05$).

No obstante, en cuanto a preferencia general, el queso del tratamiento SORGO fue significativamente preferido por parte del 53 % de los participantes, mientras que el queso del tratamiento MAÍZ fue elegido por el 47 % ($\chi^2= 3.84$, $P<0.01$).

Discusión

El mayor contenido de grasa y proteína en el queso del tratamiento SORGO puede ser atribuido a los efectos de las diferencias entre los dos tipos de forrajes (ensilado de sorgo o de maíz). Algunos estudios⁽⁴²⁾ atribuyen estas modificaciones al contenido de taninos dietéticos presentes en el sorgo, los cuales pueden influir en el metabolismo ruminal y en la composición de la leche. En Brasil, Dos Santos *et al*⁽²³⁾ reportaron que la adición de taninos a la dieta de las cabras modificó significativamente el contenido de cenizas del queso Coalho, resultados que se pueden comparar con los hallazgos del presente estudio. Estos resultados también coinciden con lo reportado en un análisis sobre queso fresco comercializado en el Valle de Toluca, a 110 km de distancia de Aculco en el centro de México⁽⁴³⁾, donde el contenido de cenizas se encontró en un rango entre 2.65 y 5.24 %.

En cuanto a la composición de la grasa del queso, otros autores⁽⁴⁴⁾ demostraron que una dieta con adición de taninos aumenta la cantidad de grasa en el queso, pasando de 17.8 g a 18.4 g, una diferencia cuantitativa similar a la observada entre los tratamientos del presente trabajo. De manera complementaria, un trabajo sobre el queso Caciocavallo⁽⁴⁵⁾, mostró que el ensilado de sorgo como base alimenticia generó un mayor contenido de grasa (50.2 %) en comparación con el producido a partir de leche de vacas alimentadas con heno de sorgo (48.9 %). De igual forma, se ha evidenciado que los taninos y polifenoles presentes en forrajes como *Leucaena leucocephala* (un arbusto forrajero tánico) no solo se transfieren a la leche y al queso, sino que además aumentan significativamente su capacidad antioxidante y modifican sustancialmente su perfil lipídico⁽⁴²⁾.

La integración de todos estos elementos sugiere que los taninos presentes en el ensilado de sorgo, a través de sus múltiples mecanismos de acción, incluyendo la protección de proteínas ruminales^(18,46), el aumento de aminoácidos disponibles^(18,47,48), y la modulación de procesos oxidativos podrían explicar las diferencias composicionales y sensoriales observadas entre los quesos elaborados con leche de vacas bajo los tratamientos SORGO y MAÍZ en el presente estudio.

Al no haber sido posible determinar los contenidos de taninos en los ensilados ni en las dietas, no es posible afirmar que las diferencias en la composición físicoquímica o la preferencia de los consumidores por los quesos se hayan debido al contenido de taninos en el tratamiento SORGO. Sin embargo, los reportes en la literatura sobre los efectos de taninos en la dieta de ruminantes sobre la composición de la leche y quesos, es posible considerar este efecto en el presente experimento⁽²⁰⁾.

Evaluación sensorial

Algunos estudios^(45,49,50), han demostrado que el tipo de forraje y su método de conservación influyen en las propiedades sensoriales y composicionales del queso. Uzun *et al*⁽⁴⁹⁾ observaron que la dieta de sorgo fresco en la dieta de bufalas modificó la textura del queso mozzarella, reduciendo su suavidad en comparación con dietas basadas en maíz, resultados consistentes con los de este estudio.

En cuanto al perfil de sabor, Serrapica *et al*⁽⁴⁵⁾ reportaron que el ensilado de sorgo en la alimentación de vacas incrementó la presencia de cetonas y ácidos en el queso Caciocavallo, compuestos asociados a sabores amargos⁽⁴⁵⁾. Este efecto podría explicar las menores calificaciones sensoriales obtenidas en los quesos del tratamiento SORGO, ya que los taninos condensados y otros fenoles presentes en el sorgo pueden generar astringencia y amargor⁽⁴⁸⁾. Adicionalmente, se encontró que el método de conservación (ensilaje vs heno) y el tipo de forraje alteran el perfil de sabor del queso, aunque su impacto varía según la materia prima láctea utilizada⁽⁴³⁾.

Por otro lado, Manzocchi *et al*⁽⁵⁰⁾ demostraron que un ensilado correctamente conservado no genera sabores desagradables en el queso Cantal, lo cual coincide con resultados de este trabajo en ciertos atributos sensoriales específicos. También, algunos investigadores⁽²³⁾ coinciden que la inclusión de taninos en la dieta de cabras modificó el contenido de cenizas en el queso Coalho.

La menor calificación en textura observada de los quesos del tratamiento SORGO podría atribuirse a la presencia de metabolitos secundarios del sorgo, particularmente taninos, ya que se ha reportado que dietas ricas en taninos generan quesos más duros y menos adherentes⁽⁵¹⁾. Esto concuerda con lo reportado en el queso Tepeque⁽²⁰⁾, donde compuestos fenólicos provenientes de plantas tropicales se asoció con el aumento de la dureza del producto.

Por otro lado, los quesos del tratamiento MAÍZ destacaron por su mayor persistencia aromática, manteniendo por más tiempo la percepción de los aromas tras su consumo⁽⁵²⁾, un resultado alineado con estudios previos que favorecen al maíz en evaluaciones sensoriales .

Prueba de preferencia

Los resultados sobre la preferencia general por los panelistas sugieren que hay consumidores particulares para cada tipo de queso; ya que, no obstante que los quesos del tratamiento MAÍZ fueron mejor calificados para los atributos sensoriales en lo individual, la mayoría de los panelistas prefirieron el queso del tratamiento SORGO.

De manera similar, en un trabajo llevado a cabo en Brasil⁽²⁷⁾, se reportaron altos valores de preferencia global de queso de cabra obtenido de la alimentación con diferentes niveles de inclusión de ensilado de sorgo en la dieta de las cabras; con resultados en línea con los aquí reportados. Este fenómeno, lejos de ser contradictorio, refleja la complejidad del comportamiento del consumidor, donde la elección de alimentos no depende únicamente de evaluaciones técnicas, sino de factores psicológicos, culturales y experienciales⁽⁵³⁾. Como se ha mencionado, los consumidores tienden a basar sus decisiones en atributos específicos de interés personal, dejando de lado otros aspectos evaluados por separado⁽⁵⁴⁾.

Este hallazgo coincide con lo reportado por Arvola *et al*⁽⁵⁵⁾ en su estudio sobre quesos familiares y desconocidos, donde demostraron que, aunque un queso pueda tener puntuaciones sensoriales más bajas en ciertos atributos, su asociación con experiencias positivas (como comidas occidentales o nostalgia) puede influir su preferencia global. En el presente estudio, es posible que los panelistas hayan priorizado características como el retrogusto, la jugosidad o la familiaridad del queso del tratamiento SORGO, incluso cuando otros atributos fueran mejor evaluados en el queso del tratamiento de MAÍZ.

Así mismo, la preferencia por el queso SORGO puede explicarse a partir del concepto de familiaridad, entendido como la conexión con experiencias previas del consumidor. Estudios como el de Torrico *et al*⁽⁵³⁾ han demostrado que los consumidores tienden a preferir alimentos que se alinean con sus experiencias previas, referencias culturales o hábitos de consumo, incluso si sensorialmente no son los más destacados.

Conclusiones e implicaciones

Los resultados demostraron que la composición fisicoquímica del queso fresco 'Molido' presentó variaciones significativas según el tipo de ensilado utilizado en la alimentación del ganado. Específicamente, los quesos elaborados con leche de vacas alimentadas con ensilado de sorgo mostraron mayores contenidos de grasa y proteína. Estas diferencias composicionales estuvieron acompañadas de modificaciones en los atributos sensoriales. El queso del tratamiento SORGO alcanzó un mayor nivel de aceptación general, por lo que la inclusión de ensilado de sorgo en la alimentación del ganado lechero representa una alternativa viable para los productores a pequeña escala orientados a la elaboración artesanal de queso fresco 'Molido', donde las características específicas del producto final son determinantes para su aceptación en el mercado.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al productor de queso que participó en este trabajo, cuya privacidad y la de su familia es respetada al no revelar sus nombres. Nuestra gratitud

igualmente para Héctor Yair Fernández-Sánchez por su apoyo en el trabajo de campo durante las evaluaciones sensoriales. Este trabajo fue realizado gracias al financiamiento de la Universidad Autónoma del Estado de México (proyecto UAEM 6788-2023-CID). Nuestro agradecimiento también al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) de México por la beca otorgada a Carla Ivonne Ortega-González para sus estudios de posgrado, y la beca posdoctoral para Laura Patricia Sánchez-Vega. Igualmente, al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por la Cátedra COMECYT EDOMEX para investigadoras e investigadores otorgada a Aurora Sainz-Ramírez.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Literatura citada:

1. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Milk and milk products. 2019. <https://www.fao.org/dairy-production/products/products/es/>.
2. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Small-scale dairy production: a way out of poverty. 2010. <https://www.fao.org/news/story/es/item/45796/icode/>.
3. STATISTA. The Statistics Portal. Annual global cheese production from 2015 to 2023. 2023. <https://es.statista.com/estadisticas/1311313/produccion-de-queso-en-el-mundo/>.
4. Villegas GA, Cervantes EF. La genuinidad y tipicidad en la revalorización de los quesos artesanales mexicanos. *Estudios Sociales* 2011;19(38):146-164.
5. Villegas A, Cervantes F, Cesín A, Espinoza A, Hernández A, Santos A, *et al.* Atlas de los quesos mexicanos genuinos. Biblioteca Básica de Agricultura; Colegio de Posgraduados; Universidad Autónoma Chapingo; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 2014.
6. Coulon JB, Delacroix-Buchet A, Martin B, Pirisi A. Relationships between ruminant management and sensory characteristics of cheeses: a review. *Lait* 2004;84:221-241.
7. Vargas-Bello-Pérez E, Geldsetzer-Mendoza C, Ibañez RA, Rodríguez JR, Alvarado-Gillis C, Keim JP. Chemical composition, fatty acid profile and sensory characteristics of Chanco-style cheese from early lactation dairy cows fed winter brassica crops. *Animals* 2020;11(107):1-13.

8. Prospero-Bernal F, Martínez-García CG, Olea-Pérez R, López-González F, Arriaga-Jordán CM. Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2017;49:1537-1544.
9. Espinosa-Ayala E, Arriaga-Jordán CM, Boucher F, Espinoza-Ortega A. Generación de valor en un Sistema Agroalimentario Localizado (SIAL) productor de quesos tradicionales en el centro de México. *Rev Fac Agron La Plata* 2013;12:36-44.
10. Velarde-Guillén J, Sainz-Ramírez A, Celis-Álvarez MD, Arriaga-Jordán CM, Martínez-García CG. Characterisation of landrace ‘criollo’ maize silage from the highlands of Mexico in terms of starch content. *Trop Anim Health Prod* 2022;54(283):1-8.
11. Gómez-Miranda A, López-González F, Vieyra-Alberto R, Arriaga-Jordán CM. Grazed barley for dairy cows in small-scale systems in the highlands of Mexico. *Ital J Anim Sci* 2022;21(1):178-187.
12. Fadul-Pacheco L, Wattiaux MA, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E, Arriaga-Jordán CM. Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecol Sustain Food Syst* 2013;37:882-901.
13. Rao I, Peters M, Castro A, Schultze-Kraft R, White D, Fisher M, *et al.* LivestockPlus – The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics. *Trop Grassl Forrajes Trop* 2015;3:59-82.
14. Bolaños-Aguilar ED, Claude-Emile J, Audebert G. Rendimiento y calidad de híbridos de sorgo con y sin nervadura café. *Rev Mex Cien Agric* 2012;3(2):441-449.
15. Colombini S, Galassi G, Crovetto GM, Rapetti L. Milk production, nitrogen balance, and fiber digestibility prediction of corn, whole plant grain sorghum, and forage sorghum silages in the dairy cow. *J Dairy Sci* 2012;95:4457-4467.
16. Botana A, Sainz-Ramírez A, Valladares J, Pereira-Crespo S, Veiga M, Resch C, *et al.* Productividad y composición química del sorgo para ensilar cultivado con y sin riego en Galicia. En: *Renaturalización vs. Ruralización. Productividad y composición química del sorgo para ensilar cultivado con y sin riego en Galicia*. 1ª ed. Barcelona, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos; 2016:90-95.
17. Alix H, Tremblay GF, Chantigny MH, Bélanger G, Seguin P, Fuller KD *et al.* Forage yield, nutritive value, and ensilability of sweet pearl millet and sweet sorghum in five Canadian ecozones. *Can J Plant Sci* 2018;99:701-714.

18. Mueller-Harvey I. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Sci Food Agric* 2006;86(13):2010-2037.
19. Patra AK, Saxena J. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *J Sci Food Agric* 2011;91(1):24-37.
20. Martínez-Loperena R, Ayala-Burgos A, Solorio-Sánchez J, Castelán-Ortega O. Efecto de un sistema silvopastoril intensivo sobre el perfil de textura y composición físico-química del Queso Artesanal Tepeque de México. *Rev Cient* 2015;25(2):153-158.
21. Buccioni A, Pauselli M, Viti C, Minieri SARA, Pallara G, Roscini V, *et al.* Milk fatty acid composition, rumen microbial population, and animal performances in response to diets rich in linoleic acid supplemented with chestnut or quebracho tannins in dairy ewes. *J Dairy Sci* 2015;98(2):1145-1156.
22. Vasta V, Daghighi M, Cappucci A, Buccioni A, Serra A, Viti C, Mele M. Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *J Dairy Sci* 2019;102(5):3781-3804.
23. Dos Santos ÉBL, Da Costa CF, Do Nascimento SPO, Da Silva APR, De Sant'ana AS, Vendruscolo RG, Campos FS, Ribeiro NL, Menezes DR. Dietary tannin and different breeds alter the fatty acid profile and sensory properties of artisanal goat Coalho cheese. *Small Rumin Res* 2023;224:106997.
24. INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Acapulco, México. 2009.
25. Espinoza-Ortega A, Espinosa-Ayala E, Bastida-López J, Castañeda-Martínez T, Arriaga-Jordán CM. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico, technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Exper Agric* 2007;43:241-256.
26. Auldish MJ, Marett LC, Greenwood JS, Wright MM, Hannah M, Jacobs JL, Wales WJ. Milk production responses to different strategies for feeding supplements to grazing dairy cows. *J Dairy Sci* 2016;99(1):657-671.
27. Sobral GC, Oliveira JS, Saraiva CAS, Santos EM, Vieira DS, Cruz, AF *et al.* Sensory analysis of goat cheese feed with sorghum silage levels in forage cactus-based diets. *Food Sci Technol Campinas* 2023;43:1-7.
28. Sainz-Ramírez A, Morales-Cruz AA, López-González F, Arriaga-Jordán CM. Cow performance and methane emissions from sorghum silage diets in small-scale dairy systems of Central Mexico. *Tropical Anim Health Prod* [Aceptado].

29. Sainz-Ramírez A, Colín-Navarro V, Estrada-Flores JG, Velarde-Guillén J, López-González F, Arriaga-Jordán CM. Characterisation and sensory appraisal of fresh ‘molido’ cheese from cows fed different levels of sunflower silage inclusion in small-scale dairy systems. *Trop Anim Health Prod* 2023;5:1-7.
30. Fusaro I, Giammarco M, Odintsov-Vaintrub M, Chincarini M, Manetta AC, Mammi LME, Palmonari A, *et al.* Effects of three different diets on the fatty acid profile and sensory properties of fresh Pecorino cheese “Primo Sale”. *Asian-Australas J Anim Sci* 2020;33(12):1991-1998.
31. García-Ferreira AC, Araújo-Teixeira RM, Pereira-Mendes B, Ribeiro-Vaneli N, De Oliveira LF, Dornelas-Silva PS, *et al.* Effects of bovine somatotropin on productive performance and Minas Padrão cheese. *Trop Anim Health Prod* 2021;53:519.
32. Montes de Oca-Flores E, Cruz-Flores MA, Espinoza-Ortega A. Physicochemical and microbiological evaluation of traditional queso molido (ground cheese) during maturation. *Agro Product* 2021;4(4):149-153.
33. Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994, para la determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico: método por arena o gasa.
34. Norma Oficial Mexicana NMX-F-099-1970, método de prueba para la determinación de pH en quesos procesados.
35. Norma Oficial Mexicana NMX-F-066-S-1978, para la determinación de cenizas en alimentos
36. Norma Oficial Mexicana NMX-F-098-1976, para la determinación de proteínas en quesos.
37. Norma Oficial Mexicana NMX-F-615-NORMEX-2018, para la determinación de extracto etéreo (Método Soxhlet) en alimentos.
38. Drake, MA. Invited Review: Sensory analysis of dairy foods. *J Dairy Sci* 2007;90:4925-4937.
39. Agudelo-López M, Cesín-Vargas A, Espinoza-Ortega A, Ramírez-Valverde B. Evaluación y análisis sensorial del Queso Bola de Ocosingo (México) desde la perspectiva del consumidor. *Rev Mex Cienc Pecu* 2019;10(1):104-119.
40. Kaps M, Lamberson WR. *Biostatistics for animal science*. 2nd ed. UK: Cromwell Press, Trowbridge; 2004.

41. Kruskal WH, Wallis WA. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J Am Stat Assoc* 1952;47(260):583-621.
42. Cuchillo-Hilario M, Delgadillo-Puga C, Navarro-Ocaña A, Pérez-Gil F. Antioxidant activity, bioactive polyphenols in Mexican goats' milk cheeses on summer grazing. *J Dairy Res* 2010;77(1):6-20.
43. Díaz-Galindo EP, Valladares-Carranza B, Gutiérrez-Castillo AC, Arriaga-Jordán CM, Quintero-Salazar B, Cervantes-Acosta, *et al.* Caracterización de queso fresco comercializado en mercados fijos y populares de Toluca, Estado de México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2017;8:139-146.
44. Menci R, Natalello A, Luciano G, Priolo A, Valenti B, Difalco A, *et al.* Cheese quality from cows given a tannin extract in 2 different grazing seasons. *J Dairy Sci* 2021;104(9):9543-9555.
45. Serrapica F, Uzun P, Masucci F, Napolitano F, Braghieri A, Genovese A, *et al.* Hay or silage? How the forage preservation method changes the volatile compounds and sensory properties of Caciocavallo cheese. *J Dairy Sci* 2020;103(2):1391-1403.
46. Bonnano A, Di Grigoli A, Mazza F, De Pasquale C, Giousue C, Vitale F, *et al.* Effects of ewes grazing sulla or ryegrass pasture for different daily durations on forage intake, milk production and fatty acid composition of cheese. *Animal* 2016;10:2074-2082.
47. De Oliveira SG, Berchielli TT, Pedreira MDS, Primavesi O, Frighetto R, Lima MA. Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle. *Anim Feed Sci Techn* 2007;135:236-248.
48. Min BR, Barry TN, Attwood GT, McNabb WC. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Anim Feed Sci Technol* 2003;106:3-19.
49. Uzun P, Masucci F, Serrapica F, Napolitano F, Braghieri A, Romano R, Di Francia, A. The inclusion of fresh forage in the lactating buffalo diet affects fatty acid and sensory profile of mozzarella cheese. *J Dairy Sci* 2018;101(8):6752-6761.
50. Manzocchi E, Martin B, Bord C, Verdier-Metz I, Bouchon M, De Marchi M, Ferlay A, Coppa M. Feeding cows with hay, silage, or fresh herbage on pasture or indoors affects sensory properties and chemical composition of milk and cheese. *J Dairy Sci* 2021;104(5):5285-5302.
51. Lomolino G, Marangon M, Vincenzi S, De Iseppi A. Sparkling cider paired with Italian Cheese: Sensory analysis and consumer assessment. *Beverages* 2022;8(82).

52. Bate-Smith EC. Haemanalysis: The concept of relative astringency. *Phytochemistry* 1973;11:907–912.
53. Torrico DD, Fuentes S, Viejo CG, Ashman H, Dunshea FR. Cross-cultural effects of food product familiarity on sensory acceptability and non-invasive physiological responses of consumers. *Food Res Int* 2019;115:439-450.
54. Schiffman LG, Kanuk LL. *Consumer behavior*. 10th. ed. New Jersey: Pearson Education; 2010.
55. Arvola A, Lähteenmäki L, Tuorila H. Predicting the intent to purchase unfamiliar and familiar cheeses: The effects of attitudes, expected liking and food neophobia. *Appetite* 1999;32(1):113-126.