



Efecto de *Morus alba* en el contenido de flavonoides y perfil bromatológico de leche caprina¹

Effect of *Morus alba* on the flavonoids content and bromatological profile of goat milk

Julio César García-Valadez², Oscar Carmona-Hernández³, Carmen Bulbarela-Sampieri⁴,
Micloth López-Del-Castillo-Lozano⁵, Ana María Aguirre Martínez², José Armando Lozada-García²

- ¹ Recepción: 13 de mayo, 2021. Aceptación: 18 de agosto, 2021. Este trabajo formó parte de la tesis para obtener el grado de Licenciado en Biología del primer autor, titulada "Evaluación de la incorporación de flavonoides en leche caprina mediante una dieta controlada con *Morus alba*". Facultad de Biología, Universidad Veracruzana.
- ² Universidad Veracruzana, Facultad de Biología, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria. C. P. 91097. Xalapa, Veracruz, México. juliocesarval09@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-6152-3348>); anaaguirre@uv.mx (<https://orcid.org/0000-0001-9012-774X>); alozada@uv.mx (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0001-9848-3722>).
- ³ Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria. C. P. 91097. Xalapa, Veracruz, México. ocarmona03@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-4439-0472>).
- ⁴ Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Lomas del Estadio S/N, Xalapa, Veracruz 91000, México. cbulbarela@uv.mx (<https://orcid.org/0000-0002-7399-4849>).
- ⁵ Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Básicas. Av. Doctor Luis Castelazo, Industrial Las Animas. C.P. 91190. Xalapa, Veracruz, México. mlopezdelcastillo@uv.mx (<https://orcid.org/0000-0002-7610-1647>).

Resumen

Introducción. La morera (*Morus alba*), planta originaria de China, se utiliza como forraje en algunas granjas. Su alto contenido de proteína estimula la producción de leche en el ganado; sin embargo, se desconoce si sus flavonoides pueden ser incorporados en la leche caprina. **Objetivo.** Evaluar el efecto de una dieta enriquecida con morera, sobre la concentración de flavonoides y parámetros bromatológicos de leche de cabras alpinas estabuladas. **Materiales y métodos.** El experimento se realizó en el año 2019, con cabras de una granja particular ubicada en Veracruz, México. Se formaron dos grupos (A con el tratamiento y B control) con cinco cabras de raza alpina cada uno, de características similares (alimentación estabulada, tres partos, sin mastitis, ordeño manual matutino y vespertino). El grupo A recibió forraje sin morera antes y después del tratamiento (días 1-10 y 21-31, respectivamente), y una dieta de forraje modificada con morera (días 11-20, tratamiento); el grupo B se alimentó con forraje sin morera los 31 días de experimentación. Además, se analizó el contenido de flavonoides en la morera y cada tres días en muestras de leche, además de los bromatológicos de contenido de proteína, grasa, lactosa, sólidos no grasos y densidad. **Resultados.** Durante la dieta modificada con morera, la concentración de flavonoides alcanzó un máximo de 53,45 mg mL⁻¹ EQ en el grupo A al día 20, descendió de forma paulatina durante el periodo posterior al tratamiento; además, mantuvo un 20 % más de flavonoides que el grupo control. Se observó también un incremento significativo del contenido de proteína en el grupo A, sin diferencia significativa en los demás parámetros bromatológicos de la leche entre los dos grupos. **Conclusión.** Las dietas modificadas con morera favorecieron la incorporación de flavonoides y el incremento de proteína en la leche de cabra, sin modificar los demás parámetros bromatológicos.

Palabras clave: cabras alpinas, dieta forraje, morera, México.



Abstract

Introduction. Mulberry (*Morus alba*), a plant native to China, is used as a fodder on some farms. Its high protein content stimulates milk production in cattle; however, it is not known whether its flavonoids can be incorporated into goat milk. **Objective.** To evaluate the effect of a diet enriched with mulberry-enriched, on flavonoids concentration and bromatological parameters of milk from stabled alpine goats. **Materials and methods.** The experiment was carried out in 2019, with goats from a particular farm located in Veracruz, Mexico. Two groups were formed (A with the treatment and B control) with five Alpine breed goats each, with similar characteristics (stall feeding, three calving, without mastitis, morning and evening hand milking). Group A received forage without mulberry before and after treatment (days 1-10 and 21-31, respectively), and a modified forage diet with mulberry (days 11-20; group B was fed forage without mulberry on all 31 days of experimentation. Additionally, the flavonoid content in mulberry and every three days in milk samples were analyzed, in addition to the bromatological content of protein, fat, lactose, non-fat solids, and density. **Results.** During the mulberry-modified diet, the flavonoid concentration reached a maximum of 53.45 mg mL⁻¹ EQ in group A at day 20, it decreased gradually during the post-treatment period; however, it maintained 20 % more flavonoids than the control group. A significant increase in protein content was also observed in group A, with no significant difference in the other bromatological parameters of the milk between the two groups. **Conclusions.** The diets modified with mulberry favored the incorporation of flavonoids and the increase of protein in goat milk, without modifying the other bromatological parameters.

Keywords: alpine goats, forage diet, mulberry, Mexico.

Introducción

La leche de cabra (*Capra aegagrus hircus*) ha sido propuesta como un alimento funcional ya que, además de nutrir aporta beneficios a la salud gracias a la fácil asimilación de su contenido de proteínas, lípidos y carbohidratos (Yangilar, 2013). La composición y características de la leche son influenciadas por la dieta que reciben las cabras, ya sea en sistemas estabulados o de libre pastoreo. Por ejemplo, se ha demostrado que en los sistemas de libre pastoreo las cabras pueden ingerir plantas ricas en compuestos fenólicos, al inducir su incorporación en la leche y en los productos derivados de esta (Chávez-Servín et al., 2018; Inglingstad et al., 2014).

En los sistemas de producción estabulados, la dieta de las cabras se basa principalmente en concentrados ricos en proteínas, minerales y carbohidratos que no siempre mejoran la calidad de la leche y no aportan compuestos bioactivos como sucede con los sistemas de libre pastoreo (Cuchillo et al., 2009; 2010). Debido a esto, diversos autores han propuesto el uso de plantas y residuos agroindustriales como parte de la dieta de las cabras estabuladas para beneficiar tanto a la salud del animal como a los productos derivados (Cabiddu et al., 2019; Correddu et al., 2020).

Se ha observado que al complementar la dieta de cabras con huizache (*Acacia farnesiana*) o con semillas de uva (*Vitis vinifera*), se incrementa significativamente la presencia de compuestos fenólicos en la sangre y en la leche de las cabras, incluso hasta después del periodo de ingesta (Delgadillo-Puga et al., 2019; Leparmarai et al., 2019).

La morera (*Morus alba*) es una planta originaria de China que tiene una amplia adaptabilidad y resiliencia a los cambios ambientales, lo cual le ha permitido ser introducida en muchas partes del mundo (Soria et al., 2001). Gracias a su producción, contenido proteico, digestibilidad e incremento de la producción de leche, se ha adoptado como una planta forrajera para la crianza de bovinos, ovinos y caprinos (Benavides, 1999). La morera presenta concentraciones de fenoles que van del 0,75 al 1,76 % en materia seca (García & Ojeda, 2004). Estos compuestos

de bajo peso molecular, poseen la particularidad de ser agentes antioxidantes, es decir, capturan radicales libres responsables del envejecimiento celular (Guo et al., 2019). Aunado a ello, se ha reportado que estas moléculas bioactivas tienen efectos positivos en la reducción de enfermedades cardiovasculares y metabólicas como la diabetes mellitus tipo 2 (Aoi et al., 2021; Mahmoud et al., 2019).

Se desconoce si los flavonoides de esta planta son capaces de incorporarse en la leche. Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de una dieta enriquecida con morera, sobre la concentración de flavonoides y parámetros bromatológicos de leche de cabras alpinas estabuladas.

Materiales y métodos

Origen de las muestras de morera y de la leche de cabra

La morera (*Morus alba*) y las muestras de leche de cabras alpinas (*Capra aegagrus hircus*) fueron recolectadas en el rancho Don Nelo (19.4849708, -96.91262294) en el año 2019, ubicado en la localidad de Pacho Viejo, municipio de Coatepec, Veracruz, México.

Cosecha y conservación de morera

Se colectó 1 kg de secciones de 30 cm del vástago de *M. alba*, que no presentaba daño foliar, mecánico o presencia de alguna enfermedad. El material se secó a 45 °C en un horno de secado, por tres días, luego se trituró con un molino eléctrico hasta obtener un polvo fino, el cual se dividió en dos porciones y almacenó a -20 °C hasta su análisis. Una parte se utilizó para los análisis bromatológicos y el resto para los análisis fitoquímicos.

Análisis bromatológico proximal de morera

La humedad se obtuvo por la diferencia de pesos de 5 g de material vegetal fresco homogenizado, el cual se sometió a deshidratación a 100 °C por 24 h (Herce, 1954).

La materia seca se determinó por el método de deshidratación en mufla, que consistió en tomar 5 g de material seco y preservado a -20 °C, se introdujo a una mufla a una temperatura de 105 °C por 16 h y se determinó la diferencia de peso (Dirección General de Normas, 1986). Las cenizas se extrajeron por calcinación de 5 g de materia vegetal a 600 °C por 2 h (Dirección General de Normas, 1978a).

Para la medición del pH se utilizó el método de la Dirección General de Normas (1978b) NMX-F-317-S. En él, 5 g de muestra triturada de morera se hidrató en 10 mL de agua desionizada, con agitación constante por un minuto. La medición se realizó con un potenciómetro digital. Todos los análisis bromatológicos de la morera se realizaron en el laboratorio de Química de la Universidad Veracruzana.

El porcentaje de proteína se estimó por el método micro Kjeldahl: 0,2 g de muestra seca se depositaron en un matraz de digestión con ácido sulfúrico y 1 g de catalizador (K_2SO_4 - $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 25:1), la muestra se digirió por 2 h a 360 °C. El residuo se destiló y recuperó en una solución de NaOH, ácido bórico (H_3BO_3) y unas gotas del indicador de Shiro-Tashiro. El amoníaco residual se valoró con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,085 N (Dirección General de Normas, 1980).

Cuantificación de flavonoides totales en *Morus alba*

Se preparó un extracto a partir de una muestra de 5 g de morera deshidratada, la cual se digirió por 2 h mediante reflujo continuo con una mezcla de 20 mL de H₂SO₄ al 10 % y 20 mL de etanol al 50 %. Luego, se hicieron lavados de etanol (EtOH) y se obtuvo una solución stock (Gutiérrez Gaitén et al., 2000); 1 mL de esta solución se mezcló con 1 mL de cloruro de aluminio (AlCl₃) al 2 % en etanol y se dejó reaccionar por 60 min a 4 °C en la obscuridad. Transcurrido el tiempo se midió la absorbancia a 420 nm en el espectrofotómetro (Palomino et al., 2009). Para la curva de calibración se utilizó una solución de quercetina (Sigma-Aldrich) en el intervalo de 5–25 µg mL⁻¹ y se midió la absorbancia a 420 nm. El contenido de flavonoides totales se expresó como µg equivalentes de quercetina (EQ). El análisis se realizó en el laboratorio de Ecología Evolutiva de la Universidad Veracruzana, México

Suministro de la dieta caprina

El estudio se basó en el modelo propuesto por Paraskevakis (2015) con algunas modificaciones. Se formaron dos grupos de cabras de la raza alpina con cinco hembras cada uno, los criterios de inclusión fueron: que estuvieran sanas, libres de mastitis, con ordeño manual, mismo número de partos (3), edad de tres años, alimentación estabulada desde el nacimiento y con ordeña de fondo con intervalo doble (matutino y vespertino). Cada animal se identificó con el número de registro otorgado por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER antes SAGARPA), luego se separaron en el grupo A que recibió el tratamiento que consistió en una dieta formulada y enriquecida con morera, y el grupo B que sirvió de testigo con una dieta sin morera.

Las cabras en el rancho Don Nelo se alimentan *ad libitum* con una dieta compuesta por cáscaras de cítricos, paja seca, pasto verde, tortillas de maíz y morera. Antes de iniciar el presente experimento, esta formulación se modificó para eliminar la morera, la cual se sustituyó por tortilla de maíz como fuente de proteína; esta fue considerada la nueva dieta base para el experimento (Cuadro 1). Durante diez días (días 1-10) ambos grupos de cabras se sometieron a un periodo de pre-dieta con la dieta base, para eliminar agentes residuales de la dieta diaria. Luego, se siguió con un periodo de diez días (días 11-20) de tratamiento donde el grupo A recibió el complemento de morera mientras que el grupo B continuo con la dieta base. Las cabras fueron sometidas a un tercer periodo de post dieta en donde ambos grupos recibieron la dieta base durante diez días (días 21-31). Es decir, en total el experimento duro 31 días dividido en tres periodos de diez días cada uno. Durante este tiempo se analizaron la presencia de flavonoides y los parámetros bromatológicos en muestras de leche de cabra, como se detalla a continuación.

Muestreo de la leche de cabra

Cada tres días se colectaron muestras de 500 mL de leche por cabra en ambos grupos. La colecta se realizó cada tres días de manera aséptica en frascos estériles a mitad de la ordeña manual. Las muestras se transportaron en frío al laboratorio y se almacenaron en refrigeración a 4 °C hasta su análisis (Wandurraga-Bernal, 2019).

Análisis bromatológico de la leche de cabra

Las muestras de leche de cabra se analizaron en el Laboratorio de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Veracruzana con el equipo Lactichek LC-02 (Page y Pederson Inc., USA), el cual mediante ultrasonido determina la densidad (D), el contenido de proteína (CP), las grasas (CG), los sólidos no grasos (SNG) y la lactosa (CL), presentes en la leche (Batty et al., 2019; Manzur et al., 2012). De las muestras de leche se tomaron alícuotas de 20

Cuadro 1. Dieta formulada (en base fresca) a los grupos experimentales de cabras Alpinas (*Capra aegagrus hircus*), durante 31 días en el rancho Don Nelo, Pacho Viejo, Coatepec, Veracruz, México. 2018.

Table 1. Diet formulated (on a fresh basis) to the experimental groups of Alpine goats (*Capra aegagrus hircus*) for 31 days at the Don Nelo ranch, Pacho Viejo, Coatepec, Veracruz, Mexico. 2018.

Alimento	Tratamientos	
	Dieta con morera Grupo A (n=5) (animal kg día ⁻¹)	Dieta base Grupo B (n=5) (animal kg día ⁻¹)
Cáscara fresca (naranja y toronja)	2	2
Paja seca	0,5	0,5
Pasto verde	3	3
Tortilla	1,2	2,2
<i>Morus alba</i>	1	0
Total	7,7	7,7

mL, las cuales se llevaron a temperatura ambiente. Después de calibrar el equipo, las muestras se analizaron por triplicado de forma automática por el equipo y se efectuó la limpieza entre muestras.

Cuantificación de flavonoides totales en leche de cabra

El contenido de flavonoides totales en la leche de cabra se determinó con un espectrofotómetro mediante la reducción con cloruro de aluminio ($AlCl_3$) (Palomino et al., 2009; Salamanca Grosso et al., 2007), como se describió anteriormente. Para ello, se precipitó la proteína y la grasa de la leche por el método del alcohol (96 %) y se separaron mediante centrifugación (Hewedi et al., 1985). Del sobrenadante resultante, se tomó 1 mL y se le adicionó 1 mL del reactivo de $AlCl_3$ al 2 % en etanol, se mezclaron completamente y se incubó por 60 min a 4 °C en oscuridad. Luego, se midió la absorbancia a 420 nm; el contenido de flavonoides totales se expresó como μg equivalentes de quercetina (EQ).

Análisis estadístico

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y los resultados se sometieron a un análisis de varianza de permutaciones múltiple (PERANOVA), estimados con el paquete estadístico Paleontological Statistics (PAST v4.4). Los análisis se corrieron por muestras completas, (todos los factores proteínas totales, grasas totales, densidad, sólidos no grasos, lactosa y flavonoides) y muestras individualizadas. A la par, se realizó un *pos hoc* de diferencia entre pares (*pairwise*).

Resultados

Análisis bromatológico proximal y contenido de flavonoides totales en morera

En el análisis bromatológico proximal de la morera se encontró que su pH fue de $7,2 \pm 0,15$; su porcentaje de humedad fue de $78,68 \% \pm 0,89$, con un porcentaje de materia seca total de $21,38 \% \pm 1,01$. Además, su contenido de

proteína fue de 25,69 % \pm 0,44 y cenizas de 2,28 % \pm 0,09. El contenido de flavonoides totales (como equivalentes de quercetina) en morera fue de 15,77 \pm 0,221 μ g EQ mL⁻¹.

Análisis bromatológico de la leche caprina

El contenido de grasa (CG) no presentó diferencia significativa entre ambos tratamientos (p=0,74). Los porcentajes máximos alcanzados fueron 5,69 % (A) y 5,65 % (B) mientras que los mínimos fueron 1,99 % (A) y 1,44 % (B), durante los 31 días del ensayo los porcentajes permanecieron similares. Durante los primeros 10 días el promedio para tratamiento A fue de 2,48 % para B de 2,35 % (Cuadro 2).

Los sólidos no grasos (SNG) para el tratamiento A tuvieron un valor máximo de 11,26 % y un mínimo de 7,34 %, para B el máximo observado fue de 11,02 % y el mínimo de 8,06 %, no se encontraron diferencias significativas (p=0,89), las medias para ambos tratamientos oscilaron entre 8,88 % y 9,61 %. La densidad (D) se mantuvo constante en ambos tratamientos, el valor más alto para el grupo A fue de 1,38 g cm⁻³ y para B de 1,41 g cm⁻³, no se encontraron diferencias significativas en ambos grupos (p=0,98). El intervalo de medias estuvo entre 1,17 y 1,38 g cm⁻³ para A y 1,29 y 1,38 g cm⁻³ para B.

En el contenido de lactosa (CL) no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos (p=0,91). Los valores máximos y mínimos para el grupo A fueron de 6,42 % y 4,08 %, mientras que para el grupo B fueron de 6,43 % y 4,17 %. Para el contenido de proteína (CP) se encontró que hubo diferencia significativa entre los grupos A y B (p=0,0001). Aunque en el periodo pre-dieta ambos grupos promediaron porcentajes similares en el contenido de proteína, esta se incrementó significativamente en el grupo A durante el periodo del tratamiento con la dieta de morera (días 11-20). Durante este periodo, el promedio fue de 5,82 % para el grupo A contra 3,44 % en el grupo control. Al regresar ambos grupos a la dieta base (días 21-31), el grupo A conservó una concentración superior de proteína con un máximo de 5,97 %, comparado con un máximo de 4,25 % en el grupo B.

Cuantificación de los flavonoides totales en la leche caprina

En el contenido de flavonoides totales en la leche de cabra se pudo observar un ajuste a la baja durante el periodo de pre-dieta (días 1-10) en ambos grupos de cabras (Figura 1). Este contenido inicial es atribuible a la persistencia de los flavonoides proporcionados en la dieta anterior al experimento; sin embargo, al día 10 ambos grupos presentaron la misma concentración de flavonoides en la leche, es por ello por lo que se realizó este periodo de pre-dieta, con la finalidad de controlar esta variable. Luego, durante el periodo de dieta con morera (días 11-20) se observó un incremento de la concentración de flavonoides en la leche del grupo A en tratamiento, con una diferencia estadística altamente significativa (p = 0,001) con respecto al grupo B de control. El grupo A alcanzó una máxima concentración de flavonoides de 53,45 μ g mL⁻¹ EQ, con un promedio de 38,11 μ g mL⁻¹ EQ, mientras que para el tratamiento B conservó 21,55 μ g mL⁻¹ EQ en promedio. Al pasar al periodo post-dieta (días 21-31), donde se regresó a la dieta base sin morera, se observó que la persistencia de los flavonoides en el grupo A se conservó un 20 % más al final del experimento que el grupo B de control.

Cuadro 2. Perfil bromatológico de la leche de cabra (*Capra aegagrus hircus*) enriquecida con *Morus alba*. Las muestras se recolectaron en la Granja Don Nelo, y se procesaron Laboratorio de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Veracruzana, México, del 10 de diciembre del 2018 hasta el 11 de enero del 2019.

Table 2. Bromatological profile and flavonoid content in goat milk (*Capra aegagrus hircus*) enriched with *Morus alba*. The samples were collected at the Don Nelo Farm, and processed at the Food Engineering Laboratory of the Universidad Veracruzana, Mexico, from December 10, 2018 to January 11, 2019.

Periodo y tratamiento	\bar{X}	Min	Max	DE
%				
Proteína A 1-10 (pre-dieta)	3,22	1,68	4,15	0,67
Proteína B 1-10 (pre-dieta)	3,33	2,51	4,09	0,45
Proteína A 11-20 (dieta)	5,82	4,12	7,47	0,82
Proteína B 11-20 (dieta)	3,44	3,01	4,05	0,34
Proteína A 21-31 (post dieta)	3,81	1,98	5,97	1,13
Proteína B 21-31(post dieta)	3,18	2,05	4,25	0,46
%				
Grasa A 1-10 (pre-dieta)	2,48	1,25	4,64	0,73
Grasa B 1-10 (pre-dieta)	2,35	0,94	4,49	1,09
Grasa A 11-20 (dieta)	3,40	0,18	7,67	1,57
Grasa B 11-21 (dieta)	3,43	1,11	6,49	1,62
Grasa A 21-31 (post dieta)	3,77	1,25	7,07	1,64
Grasa B 21-31 (post dieta)	3,02	0,31	6,11	1,53
%				
Sólidos no grasos A 1-10 (pre-dieta)	9,22	7,69	10,21	0,88
Sólidos no grasos B 1-10 (pre-dieta)	8,88	7,04	10,80	1,07
Sólidos no grasos A 11-20 (dieta)	9,17	6,09	11,60	1,17
Sólidos no grasos B 11-20 (dieta)	9,61	8,15	11,30	0,93
Sólidos no grasos A 21-31 (post dieta)	9,35	6,60	13,60	1,49
Sólidos no grasos B 21-31 (post dieta)	8,84	7,01	11,00	0,88
%				
Lactosa A 1-10 (pre-dieta)	5,28	4,36	6,51	0,69
Lactosa B 1-10 (pre-dieta)	5,24	3,15	6,67	0,79
Lactosa A 11-20 (dieta)	5,39	3,52	6,54	0,65
Lactosa B 11-20 (dieta)	5,48	4,30	7,71	0,68
Lactosa A 21-31 (post dieta)	5,25	3,68	7,69	0,89
Lactosa B 21-31 (post dieta)	4,89	3,48	6,23	0,65
g/cm ³				
Densidad A 1-10 (pre-dieta)	1,17	1,02	1,44	0,17
Densidad B 1-10 (pre-dieta)	1,18	1,02	1,49	0,16
Densidad A 11-20 (dieta)	1,29	1,03	1,68	0,11
Densidad B 11-20 (dieta)	1,33	1,11	1,50	0,05
Densidad A 21-31 (post dieta)	1,17	0,13	1,46	0,20
Densidad B 21-31 (post dieta)	1,18	1,02	1,58	0,16

N= tamaño de muestra, X= media, Min= mínimos, Max= máximos, DE= desviación estándar. / N= Sample size, X= Mean, Min= Minimum, Max= Maximum, DE= Standard deviation.

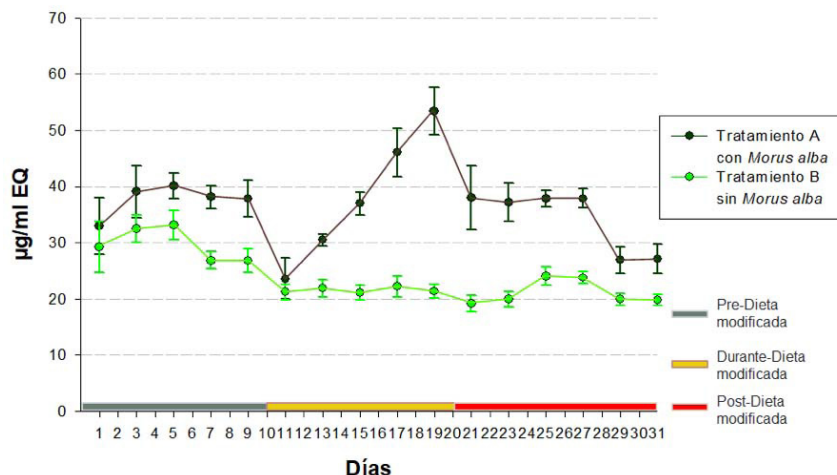


Figura 1. Concentración de flavonoides en $\mu\text{g mL}^{-1}$ EQ (Y) en la leche de cabra (*Capra aegagrus hircus*), durante los 31 días del experimento (X) ($p < 0.001$). Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de Ecología Evolutiva de la Universidad Veracruzana, México, del 10 de diciembre del 2018 hasta el 11 de enero del 2019.

Figure 1. Flavonoid concentration in $\mu\text{g mL}^{-1}$ EQ (Y) in goat milk (*Capra aegagrus hircus*), during the 31 days of the experiment (X) ($p < 0.001$). The samples were processed at the Ecology-Evolutionary Laboratory of the Universidad Veracruzana, Mexico, from December 10, 2018 to January 11, 2019.

Discusión

En los análisis bromatológicos proximales de los vástagos de morera se encontró que la humedad y el contenido de materia seca estuvieron dentro del rango reportado para esta especie, aunque con un contenido de ceniza ligeramente inferior a los valores reportados por otros autores (Benavides, 1995; Boschini, 2001; Boschini et al., 2000; Hurtado et al., 2012). Factores como la intensidad de siembra, la distancia entre plantas, el tiempo y altura de poda, así como el grado de fertilización de la unidad productiva, tienden a inducir variabilidad en estos y otros parámetros en la planta (Boschini et al., 2000; Delgado & Rodríguez Molano, 2012; García et al., 2006). El valor de pH de los vástagos estudiados fue cercano a la neutralidad, a diferencia de los pH reportados para *Morus nigra* (3,4), *M. rubra* (4,04) y *M. alba* (5,45) que fueron ácidos (Ercisli & Orhan, 2007a; 2007b; Farahani et al., 2019; Lee & Hwang, 2017). El pH neutro favorece la disminución del riesgo de acidosis ruminal, la cual puede llegar a ser letal para ciertos rumiantes (Granja-Salcedo et al., 2012).

El contenido de proteína bruta determinado en los vástagos de morera (25,69 %), se encuentra dentro del intervalo reportado para la especie (14 a 34,2 %) (Hassan et al., 2020). El contenido de proteína en forrajes puede variar por factores como la variedad, la edad, el tamaño de corte, el contenido de nitrógeno disponible en suelo (Boschini et al., 2000; Delgado & Rodríguez Molano, 2012), con concentraciones más homogéneas (24,32-27,60) en el caso de los forrajes de explotación continua cuando son fertilizados e irrigados constantemente (Martín et al., 2007). El contenido de proteína (CP) en la leche de las cabras, fue significativamente influenciado por la dieta con morera, se incrementó durante el periodo de dieta (días 11-20) y continuó con una tendencia elevada hasta el final del periodo experimental. El incremento en el porcentaje de proteína durante el periodo de tratamiento sugiere que la dieta con morera aportó nitrógeno, el cual es transformado en proteína. El porcentaje máximo de proteína obtenido (5,97 %) fue superior a lo reportado para el sorgo negro (3,54 %) y el pasto estrella africana (3,58 %) (Herrera-Campos et al., 2009). Se considera que el alto contenido proteínas en hojas de morera es incluso mayor

que otros forrajes tradicionales y mejor que la harina de soya, considerada un alimento proteico de alta calidad para el ganado (Hassan et al., 2020).

El contenido de grasa en la leche, aunque se incrementó durante el periodo de tratamiento, no presentó diferencia estadística significativa entre los grupos y se mantuvo en el intervalo de 2,48 a 3,77 %. El periodo post dieta fue donde hubo mayor incremento en el grupo tratado con respecto al grupo testigo, esto podría ser debido a un efecto tardío del consumo de morera y el tiempo de bioasimilación o biotransformación en las cabras. Otros autores han reportado contenidos de grasa en la leche de cabras alimentadas con morera de 4,23 %, valor significativamente elevado, posiblemente debido a mayores tiempos de dieta en los animales (Herrera-Campos et al., 2009). Además, se ha reportado que la fracción de flavonoides de morera tienen efecto inhibitorio sobre los adipocitos en el proceso de acumulación de grasa, lo cual favorecería su excreción conforme se mantiene su consumo por cierto tiempo (Li et al., 2018).

Para el contenido de sólidos no grasos (promedio de ambos grupos $9,2 \pm 0,3$ %) y el contenido de lactosa (promedio de ambos grupos $5,32 \pm 0,2$ %) no se observó diferencia estadística significativa entre ambos grupos y fueron similares a los reportados en la literatura para leche de cabra (Benavides, 1995; Bidot Fernández, 2017). Estos datos sugieren que la dieta de morera no tiene influencia sobre estos parámetros.

Para el contenido de flavonoides totales en la leche de cabra, se pudo observar un incremento durante el periodo de dieta con morera, a partir del día 11, con un promedio de contenido de flavonoides en el tratamiento A de $38,11 \mu\text{g ml}^{-1}$ EQ y en el tratamiento B de $21,55 \mu\text{g ml}^{-1}$ EQ. Luego, durante el periodo post dieta, se observó una persistencia en el contenido de flavonoides, que mantuvo una concentración promedio en el grupo A de $34,12 \mu\text{g ml}^{-1}$ EQ y en el B de $21,10 \mu\text{g ml}^{-1}$ EQ. Este comportamiento se ha reportado en dietas enriquecidas con semillas de uva, donde la incorporación de fenoles a la leche caprina dura varias semanas e inclusive en el post tratamiento ya sin consumo de semillas (Leparmarai et al., 2019). La presencia de compuestos fenólicos y de terpenos en la leche caprina se ha asociado al consumo de plantas ricas en estos compuestos en animales estabulados (De-Feo et al., 2006; Delgadillo-Puga et al., 2019). En sistemas de libre pastoreo las dietas ricas en plantas con altos contenidos de fenoles son incorporados a la leche (Cabiddu et al., 2019). Los compuestos fenólicos ayudan a proporcionar actividad antioxidante a los productos derivados de la leche y mejoran la salud animal (Alyaqoubi et al., 2014; Reyes-Becerril et al., 2021). Dentro de otras alternativas para adicionar fenoles se encuentra la incorporación de *Acacia farnesiana*, *Chlorella pyrenoides* y *Origanum vulgare* spp. *hirtum* (Delgadillo-Puga et al., 2019; Paraskevakis, 2015; Tsiplakou et al., 2017).

Conclusiones

La incorporación de morera (*Morus alba*) en la dieta de las cabras favoreció la incorporación de sus flavonoides en la leche, mantuvo una persistencia residual aún después de cesar su consumo.

Solo el contenido de proteína se vio incrementada con la incorporación de la morera en la dieta, sin afectar los demás parámetros bromatológicos de la leche, lo cual sumaría una funcionalidad más a las características benéficas de la leche de cabra.

Un estudio de seguimiento por más tiempo durante y después de la dieta con morera, permitirían establecer si la acumulación de flavonoides puede ser conservada en la producción continua y en el procesamiento de derivados de la leche de cabra.

Agradecimientos

Los autores agradecen al rancho “Don Nelo” a cargo del Lic. Ignacio Cambambia González, por permitir realizar los experimentos con sus cabras.

Referencias

- Alyaqoubi, S., Abdullah, A., & Addai, Z. R. (2014). Antioxidant activity of goat's milk from three different locations in Malaysia. *AIP Conference Proceedings*, 1614(1), 198–201. <https://doi.org/10.1063/1.4895195>
- Aoi, W., Iwasa, M., & Marunaka, Y. (2021). Metabolic functions of flavonoids: from human epidemiology to molecular mechanism. *Neuropeptides*, 88(1), Article 102163. <https://doi.org/10.1016/j.npep.2021.102163>
- Batty, D., Meunier-Goddik L., & Waite-Cusic, J. G. (2019). Camembert-type cheese quality and safety implications in relation to the timing of high-pressure processing during aging. *Journal of Dairy Science*, 102(10), 8721–8733. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16236>
- Benavides, J. E. (1995). Manejo y utilización de la morera (*Morus alba*) como forraje. *Agroforestería en las Américas*, 2(7), 27–30.
- Benavides E. J. (1999). Utilización de la Morera en sistemas de Producción Animal. En M. D. Sánchez & M. M. Rosales (Eds.), *Agroforestería para la producción animal en América Latina* (pp. 195-200). Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.
- Bidot Fernández, F. A. (2017). Composición, cualidades y beneficios de la leche de cabra: revisión bibliográfica. *Revista de Producción Animal*, 29(2), 32–41. <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/1686>
- Boschini, F. C. (2001). Producción y calidad de la morera (*Morus alba*) cosechada en diferentes modalidades de poda. *Agronomía Mesoamericana*, 12(2), 175–180. <https://doi.org/10.15517/AM.V12I2.17230>
- Boschini, C., Dormond, H., & Castro, A. (2000). Composición química de la morera (*Morus alba*), para uso en la alimentación animal: Densidades y frecuencias de poda. *Agronomía Mesoamericana*, 11(1), 41–49. <https://doi.org/10.15517/am.v11i1.17340>
- Cabiddu, A., Delgadillo-Puga, C., Decandia, M., & Molle, G. (2019). Extensive ruminant production systems and milk quality with emphasis on unsaturated fatty acids, volatile compounds, antioxidant protection degree and phenol content. *Animals*, 9(10), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ani9100771>
- Chávez-Servín, J. L., Andrade-Montemayor, H. M., Velázquez Vázquez, C., Aguilera Barreyro, A., García-Gasca, T., Ferríz Martínez, R. A., Olvera Ramírez, A. M., & de-la-Torre-Carbot, K. (2018). Effects of feeding system, heat treatment and season on phenolic compounds and antioxidant capacity in goat milk, whey and cheese. *Small Ruminant Research*, 160(1), 54–58. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.01.011>
- Correddu, F., Lunesu, M. F., Buffa, G., Atzori, A. S., Nudda, A., Battacone, G., & Pulina, G. (2020). Can agro-industrial by-products rich in polyphenols be advantageously used in the feeding and nutrition of dairy small ruminants. *Animals*, 10(1), Article 131. <https://doi.org/10.3390/ani10010131>
- Cuchillo H. M., Puga D., Galina M. A., & Pérez-Gil R. F. (2009). Influence of semiarid summer browsing on chemical. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 11(1), 25–28. <https://www.revista.coba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/88>

- Cuchillo H. M., Puga, C. D., Ocana, A. N., & Romo, F. P. G. (2010). Antioxidant activity, bioactive polyphenols in Mexican goats' milk cheeses on summer grazing. *Journal of Dairy Research*, 77(1), 20–26. <https://doi.org/10.1017/S002202990990161>
- De-Feo, V., Quaranta, E., Fedele, V., Salvatore, C., Rubino, R., & Pizza, C. (2006). Flavonoids and terpenoids in goat milk in relation to forage intake. *Italian Journal of Food Science*, 18(1), 85–92.
- Delgadillo-Puga, C., Cuchillo-Hilario, M., León-Ortiz, L., Ramírez-Rodríguez, A., Cabiddu, A., Navarro-Ocaña, A., Morales-Romero, A. M., Medina-Campos, O. N., & Pedraza-Chaverri, J. (2019). Goats' feeding supplementation with *Acacia farnesiana* pods and their relationship with milk composition: Fatty acids, polyphenols, and antioxidant activity. *Animals*, 9, Article 515. <https://doi.org/10.3390/ani9080515>
- Delgado, M. J., & Rodríguez Molano, C. E. (2012). Producción y valor nutricional del cultivo de morera (*Morus alba* L.) con intercalamiento de leguminosas. *Revista Ciencia y Agricultura*, 9(2), 7–14. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_agricultura/article/view/2811
- Dirección General de Normas (1978a). NMX-F-066-S-1978. *Determinación de cenizas en alimentos*. <https://xdoc.mx/documents/nmx-f-066-s-1978-determinacion-de-cenizas-en-alimentos-5f9b9221d6381>
- Dirección General de Normas. (1978b). NMX-F-317-S-1978. *Determinación de pH en alimentos*. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4704689&fecha=23/05/1978
- Dirección General de Normas. (1980). NMX-F-068-S-1890. *Alimentos: Determinación de proteínas*. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=734069
- Dirección General de Normas. (1986). NMX-F-083-S-1986. *Alimentos. Determinación de humedad en productos Alimenticios*. https://caisatech.net/uploads/XXI_2_MXD_C10_NMX-F-083-1986_R0_14JUL1986.pdf
- Ercisli, S., & Orhan, E. (2007a). Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chemistry*, 103(4), 1380–1384. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.054>
- Ercisli, S., & Orhan, E. (2007b). Some physico-chemical characteristics of black mulberry (*Morus nigra* L.) genotypes from Northeast Anatolia region of Turkey. *Scientia Horticulturae*, 116(1), 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.021>
- Farahani, M., Salehi-Arjmand, H., Khadivi, A., & Akramian, M. (2019). Chemical characterization and antioxidant activities of *Morus alba* var. *nigra* fruits. *Scientia Horticulturae*, 253(1), 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.040>
- García, D. E., & Ojeda, F. (2004). Evaluación de los principales factores que influyen en la composición fotoquímica de *Morus alba* (Linn.). III. Flavonoides totales. *Pastos y Forrajes*, 27(3), 267–272. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=780>
- García, D., Noda, Y., Medina, M., Martín, G., & Soca, M. (2006). La morera: una alternativa viable para los sistemas de alimentación animal en el trópico. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 10(1), 55–72.
- Granja-Salcedo, Y. T., Ribeiro-Junior, C. S., Toro-Gómez, D. J., Rivera-Calderón, L. G., Machado, M., & Manrique-Ardila, A. (2012). Acidosis ruminal en bovinos lecheros: implicaciones sobre la producción y la salud animal - Ruminal. *REDVET*, 13(4), 1–11. <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/73277/2-s2.0-84862106189.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Guo, C., Zhang, H., Guan, X., & Zhou Z. (2019). The anti-aging potential of Neohesperidine and its synergistic effects with other citrus flavonoids in extending chronological lifespan of *Saccharomyces cerevisiae* BY4742. *Molecules*, 24, Article 4093. <https://doi.org/10.3390/molecules24224093>
- Gutiérrez Gaitén, Y. I., Miranda Martínez, M., Varona Torres, N., & Rodríguez, A. T. (2000). Validación de 2 métodos espectrofotométricos para la cuantificación de taninos y flavonoides (quercetina) en *Psidium guajaba*, L. *Revista Cubana de Farmacia*, 34(1), 50–55.
- Hassan, F.-u., Arshad, M. A., Li, M., Rehman, M. S.-u., Loor, J. J., & Huang, J. (2020). Potential of Mulberry leaf biomass and its flavonoids to improve production and health in ruminants: mechanistic insights and prospects. *Animals*, 10(1), Article 2076. <https://doi.org/10.3390/ani10112076>
- Herce, P. (1954). *Análisis agrícola fundamentos y técnicos operatorios*. Editorial Dossat.
- Herrera-Campos L. R., Vargas-Rodríguez C. F., Boschini-Figueroa C., & Chacón-Villalobos A. (2009). Variación bromatológica de la leche de cabras Lamancha alimentadas con diferentes forrajes. *Agronomía mesoamericana*, 20(2), 381-390. <http://doi.org/10.15517/am.v20i2.4954>
- Hewedi, M. M., Mulvihill D. M., & Fox, P. F. (1985). Recovery of milk protein by ethanol precipitation. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 9(1), 11–23. <https://www.jstor.org/stable/25558097>
- Hurtado, D. I., Nocua, S., & Narváez-Solarte, W. (2012). Valor nutricional de la morera (*Morus* sp.), matarratón (*Gliricidia sepium*), pasto india (*Panicum maximum*) y arboloco (*Montanoa quadrangularis*) en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*). *Revista de Veterinaria e Zootecnia*, 6(1), 56-65. <http://vip.ucaldas.edu.co/vetzootec/downloads/v6n1a06.pdf>
- Inglingsstad, R. A., Steinshamn, H., Dagnachew, B. S., Valenti, B., Criscione, A., Rukke, E. O., Devold T.G., & Vegarud, G. E. (2014). Grazing season and forage type influence goat milk composition and rennet coagulation properties. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3800–3814. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7542>
- Lee, Y., & Hwang, K. T. (2017). Changes in physicochemical properties of mulberry fruits (*Morus alba* L.) during ripening. *Scientia Horticulturae*, 217(1), 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.042>
- Leparmarai, P. T., Sinz, S., Kunz, C., Liesegang, A., Ortmann, S., Kreuzer, M., & Marquardt, S. (2019). Transfer of total phenols from a grapeseed-supplemented diet to dairy sheep and goat milk, and effects on performance and milk quality. *Journal of Animal Science*, 97(4), 1840–1851. <https://doi.org/10.1093/jas/skz046>
- Li, H. X., Jo, E., Myung, C. S., Kim, Y. H., & Yang, S. Y. (2018). Lipolytic effect of compounds isolated from leaves of mulberry (*Morus alba* L.) in 3T3-L1 adipocytes. *Natural Product Research*, 32(16), 1963–1966. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1354190>
- Mahmoud, A. M., Hernández-Batista, R. J., Sandhu, M. A., & Hussein, C. A. (2019). Beneficial effects of citrus flavonoids on cardiovascular and metabolic health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, Article 5484138. <https://doi.org/10.1155/2019/5484138>
- Manzur, C. A., Ruíz, R. J. L., Sánchez, M. B., Cruz, L. J. L., Orantes, Z. M. A., Lau, S. A., & Castellanos, C. A. (2012). Análisis de la composición química de leche en explotaciones lecheras en las regiones 01 Centro y 04 Frailesca de Chiapas. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(14), 14–20.
- Martín, G. J., Noda, Y., Pentón, G., García, D. E., García, F., González, E., Ojeda F., Milera M., López O., Leiva, L., & Arece J. (2007). La morera (*Morus alba*, Linn.): una especie de interés para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes*, 30(supl. 20075), Artículo 1.

- Palomino, L. R., García, C. M., Gil, J. H., Rojano, B. A., & Durangor, D. L. (2009). Determinación del contenido de fenoles y evaluación de la actividad antioxidante de propóleos recolectados en el departamento de Antioquia (Colombia). *Vitae*, *16*(3), 388–395.
- Paraskevakis, N. (2015). Effects of dietary dried Greek Oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) supplementation on blood and milk enzymatic antioxidant indices, on milk total antioxidant capacity and on productivity in goats. *Animal Feed Science and Technology*, *209*, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.001>
- Reyes-Becerril, M., Gijón D., Angulo, M., Vázquez-Martínez, J., López, M. G., Junco E., Armenta J., Guerra, K., & Angulo C. (2021). Composition, antioxidant capacity, intestinal, and immunobiological effects of oregano (*Lippia palmeri* Watts) in goats: preliminary *in vitro* and *in vivo* studies. *Tropical Animal Health and Production*, *53*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02450-z>
- Salamanca Grosso, G., Correa Carvajal, I. L., & Principal, J. (2007). Perfil de flavonoides e índices de oxidación de algunos propóleos colombianos. *Zootecnia Tropical*, *25*(2), 95–102.
- Soria, S., Salice, G., & Avendaño, F. (2001). *Guía práctica de sericultura*. Instituto Italo-Latinoamericano. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=AR2007000176>
- Tsiplakou, E., Abdullah, M. A., Alexandros, M., Chatzikonstantinou, M., Skliros, D., Sotirakoglou, K., Flematakis E., Labrou N. E., & Zervas, G. (2017). The effect of dietary *Chlorella pyrenoidosa* inclusion on goats' milk chemical composition, fatty acids profile and enzymes activities related to oxidation. *Livestock Science*, *197*, 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.01.014>
- Wandurraga-Bernal, F. M. (2019). *Diseño y adecuación de un sistema de ordeño mecánico móvil y manual de manejo basado en buenas prácticas de ordeño en ganaderías caprina* [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia] Repositorio de la Universidad Cooperativa de Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/14684>
- Yangilar, F. (2013). As a potentially functional food: Goats' milk and products. *Journal of Food and Nutrition Research*, *1*(4), 68–81. <https://doi.org/10.12691/jfnr-1-4-6>