Uso de residuos citrícolas en la alimentación de bovinos y caprinos lecheros: revisión sistemática

Use of citrus waste in the feeding of dairy cattle and goats: a systematic review

Jenny Dalay Martínez-Maldonado[1], Gerardo Noé Rosales-Martínez[1], Jorge Alva-Pérez[1], Ivonne Ceballos-Olvera[1], Luz Yosahandy Peña-Avelino[1]*

RESUMEN

Los residuos cítricos superan los 120 millones de toneladas anuales a nivel mundial. Su aprovechamiento, desde la economía circular, contribuye a la reducción de los costos de alimentación y su impacto ambiental. Estos contienen compuestos bioactivos como flavonoides, polifenoles, carotenoides, fibra dietética y aceites esenciales que les confieren propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas. Los residuos están compuestos por pulpa, cáscaras y semillas que representan entre el 40 y 60% del peso de la fruta. En ganado bovino, la inclusión del 12.3% en MS en la dieta mejora la producción láctea diaria (38.0 kg/d. En cabras la inclusión del 59.4% en MS mejora la producción de leche diaria (reportando hasta 2.01 kg/d). Los residuos citrícolas representan una alternativa viable y sostenible para la nutrición de rumiantes.

Palabras clave: Alimentación animal, bovinos, caprinos, producción de leche, residuos citrícolas.

ABSTRACT

Citrus waste exceeds 120 million tons annually worldwide. Its utilization, within the framework of the circular economy, helps reduce food costs and its environmental impact. These residues contain bioactive compounds such as flavonoids, polyphenols, carotenoids, dietary fiber, and essential oils, which confer antioxidants, anti-inflammatory, and antimicrobial properties. It was found that the residues consist of pulp, peels, and seeds, which account for between 40% and 60% of the fruit's weight. In cattle, 12.3% in the diet improves daily milk production (38.0 kg/d). In goats, including 59.4%, resulted in milk production of (2.01 kg/d). Citrus waste represents a viable and sustainable alternative for ruminant nutrition.

Keywords: Animal feed, cattle, goats, milk production, citrus waste.

***Autor para correspondencia:** lypena@docentes.uat.edu.mx
Fecha de recepción: 18 de abril de 2026
Fecha de aceptación: 8 de junio de 2026
Fecha de publicación: 15 de julio de 2026
[1]Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda, para el año 2050, será de un 73% en la producción de carne y 58% en leche. Esto representa un desafío para el sector ganadero porque se enfrenta a los costos elevados de los concentrados tradicionales que representan hasta el 75% de los costos variables en la industria (Achilonu et al., 2018). En este contexto, los rumiantes posen la capacidad de transformar residuos vegetales, como los subproductos agroindustriales no comestibles para el ser humano, en productos proteicos de alta calidad, debido a su microbiota ruminal que les permite digerir altos niveles de carbohidratos solubles, pectinas y transformarlos en nutrientes aprovechables (Habeeb, 2023). De acuerdo con Wodajo et al., (2020) los rumiantes tienen un papel importante en la seguridad alimentaria.

Los bovinos son valorados como la fuente principal de proteína de alta calidad, a través de la provisión de carne y leche; los pequeños rumiantes, ovinos y caprinos, complementan esta producción debido a su resiliencia y la disponibilidad de proteína animal. La producción de caprinos se encuentra extendida en distintos espacios rurales e incluso urbanos, debido a su capacidad de adaptación y resiliencia (Teixeira et al., 2024). Por otro lado, de acuerdo con la FAOSTAT (2026), la producción mundial de cítricos superó los 165 millones de toneladas; los principales países productores de cítricos fueron China 48,158,694 t, Brasil 18,507,971 t, India 14,552,508 t, México 9,477,896 t, Egipto 5,857,700 t, España 5,727,280 t y USA 4,777,012 t. La producción de naranja contribuye con más de la mitad de la producción mundial. El estado de Tamaulipas cuenta con aproximadamente 46,000 hectáreas dedicadas al cultivo de cítricos: naranja, limón, mandarina y toronja. La producción anual de cítricos en el estado supera las 900,000 toneladas. En Ciudad Victoria, la producción citrícola es de aproximadamente 273,350 toneladas (SIAP, 2024).

Los residuos citrícolas poseen sustancias fitoquímicas y bioactivas, como los flavonoides, polifenoles, carotenoides, fibra dietética, ácido ascórbico, azúcares, aceites esenciales y oligoelementos (Maqbool et al., 2023). Budiarto et al. (2024) mencionan que la cáscara de cítricos contiene compuestos fenólicos, flavonoides, vitaminas, minerales, fibra dietética, aceites esenciales, carotenoides y limonoides, con propiedades antioxidantes, antinflamatorias, antibacterianas y anticancerígenas. Mientras que la pulpa de cítricos (bagazo), es rica en carotenoides, vitamina C, macrominerales (calcio, magnesio, potasio, fósforo), y microminerales (hierro, zinc, manganeso y cobre). Además, conserva pectina, flavonoides y polifenoles como la hesperidina, naringina, nobiletina y quercetina (Saeed et al., 2023). En semillas inmaduras, de acuerdo con Costanzo et al. (2022), se han identificado un total de 34 derivados fenólicos, disminuyendo a 24 compuestos en su madurez.

De acuerdo con Sabbah-Allam & El-Elaime (2020) los residuos citrícolas poseen nutrientes digestibles totales de 74%, y un valor de energía metabolizable (EM) de (2.67 Mcal/kg), el cual es comparable al de la cebada (2.70-2.80 Mcal/kg) y cercano al valor energético del maíz (3.0-3.2 Mcal/kg). Tayengwa & Mapiye (2018), mencionan que los subproductos de cítricos contienen valores de proteína cruda del 7% y extracto etéreo de 3.7%. Además, estos poseen un alto contenido de carbohidratos no fibrosos de 69.32% y azúcares totales de 24.5 ± 3.9%, a diferencia de los granos, su energía no proviene del almidón, el cual es relativamente bajo 7.5 ± 3.1%, esto disminuye el riesgo de acidosis ruminal al producir más ácido acético que láctico (Alnaimy et al., 2017). La cáscara es rica en pectina, con valores de 20.9% en base seca, es altamente fermentable y soluble, esto favorece la microbiota ruminal ayudando a prevenir la caída del pH y el riesgo de acidosis (El-Zaiat et al., 2022).

ISSN electrónico: 2992-7501 4(1), 23 - 35 (Jul - Dic 2026)
https://doi.org/10.29059/cvpa.v4i1.49

La industria agroalimentaria genera, por año, 120 millones de toneladas de subproductos agroindustriales (Mahato et al., 2020). Una quinta parte de la producción global de cítricos es sometida a procedimientos industriales: extracción de jugo (45% del peso total) descartando el resto (25% de cáscara, 26% de pulpa y un 2% de semillas), sumando los frutos que no cumplen el control de calidad (Fernández-Fernández et al., 2021; Russo et al., 2021), además, de la perdida postcosecha (Xu et al., 2026). Estos subproductos cítricos pueden generar una crisis ecológica, debido al deficiente manejo de los residuos. La utilización de ellos en la alimentación animal puede disminuir los costos en la alimentación animal (Jalal et al., 2023). Los subproductos agroindustriales pueden ser promotores de la economía circular, al impulsar el desarrollo económico sustentable, generar mayor cantidad de alimentos a un menor costo (Saeed et al., 2023) y sin detrimento ambiental, como se menciona en la agenda 2030 (FAO, 2021).

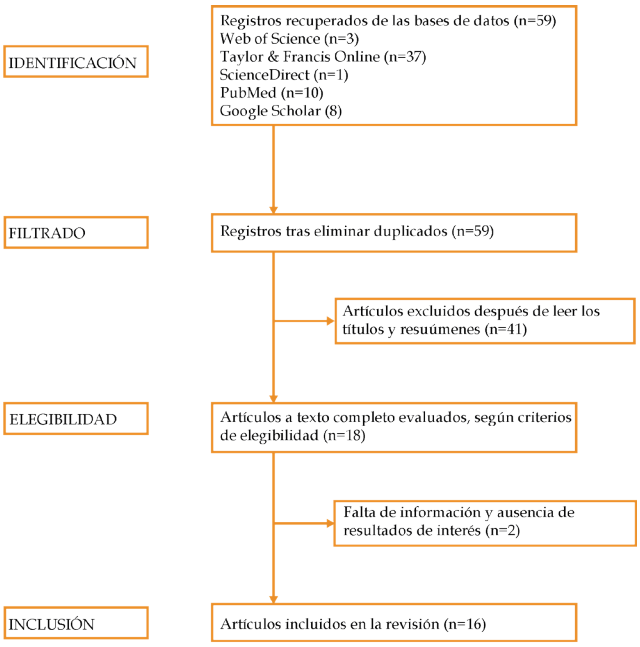
La alta oxidación puede llegar a degradar los compuestos bioactivos afectando la estabilidad (Tayengwa & Mapiye, 2018). La deshidratación y ensilaje son técnicas utilizadas como método de conservación de los alimentos en la producción animal (Bakr et al., 2025). La deshidratación es la técnica más usada de conservación, existen diferentes tipos: secado al sol, en horno y congelación (Fernández-Fernández et al., 2021). Mientras que el henolaje combina el marchitamiento del material con el proceso de ensilado, favoreciendo una fermentación más estable (Silva et al., 2019). Los residuos citrícolas, mediante ensilaje y el uso de materiales absorbentes, cómo paja de arroz o pasto aseguran una densidad óptima de 303-324 kg/m³. Después de un periodo de 30-60 días, se obtiene un ensilaje que destaca por su agradable olor a fruta madura, característico de la fermentación láctica y un pH de 3.4-3.5 (Bakr, 2020; Cabrera-Núñez et al., 2020; Nargeszadeh et al., 2024). El objetivo de la presente revisión sistemática fue evaluar el impacto del uso de residuos cítricos en la alimentación animal, en sustitución de fuentes energéticas convencionales sobre el rendimiento productivo y la composición química de la leche en rumiantes.

DESARROLLO DEL TEMA

Materiales y Métodos

Pregunta de investigación y estrategia de búsqueda

La presente revisión sistemática busca responder la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto del uso de subproductos citrícolas en la alimentación de cabras, y bovinos lecheros sobre la producción y composición de la leche, en comparación con dietas convencionales basadas en maíz o sorgo? Para estructurar la búsqueda se utilizó el marco PICO: P = cabras, y bovinos lecheros; I = subproductos citrícolas (pulpa, ensilaje, cáscara y residuos de cítricos); C = dietas convencionales basadas en ensilaje de maíz, sorgo o dieta estándar; O = rendimiento lácteo, grasa, proteína, y lactosa. Se realizó una búsqueda bibliográfica de artículos originales siguiendo los criterios de PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021) en las bases de datos Web of Science, Taylor & Francis Online, ScienceDirect, PubMed y Google Scholar. La cadena de búsqueda combinó los siguientes términos mediante operadores booleanos: ("Goat" OR "Capra hircus" OR "Cattle" OR "Cow" OR "Small ruminants") AND ("Citrus by-products" OR "Citrus pulp" OR "Citrus silage" OR "Orange pulp" OR "Citrus waste" OR "Dried citrus") AND ("Corn silage" OR "Maize" OR "Sorghum" OR "Control diet") AND ("Milk yield" OR "Milk composition" OR "Milk fat" OR "Milk protein" OR "Lactose") NOT ("Review" OR "Meta-analysis"). Las referencias se gestionaron con Mendeley Desktop 1.19.8. El diagrama de flujo de la revisión se muestra en la Figura 1.



■ Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de artículos

Criterios de inclusión y exclusión

Los artículos fueron incluidos si cumplían con los siguientes requisitos: 1) Estudios experimentales in vivo con diseño controlado (grupo tratamiento vs. grupo control). 2) Realizados en rumiantes lecheros: cabras (*Capra hircus*), o bovinos lecheros (*Bos taurus*) en período de lactación. 3) La intervención consistía en la inclusión de subproductos citrícolas (pulpa fresca, deshidratada, ensilada, cáscara o residuos de naranja o limón) como reemplazo parcial o total de forraje o concentrado convencional. 4) El grupo control utilizaba una dieta convencional basada en ensilaje de maíz, sorgo, grano de maíz u otro forraje estándar sin subproductos cítricos. 5) Reportaban al menos una de las siguientes variables: rendimiento lácteo (kg/d), grasa (%), proteína (%), lactosa (%), o composición general de la leche. 6) Artículos publicados en revistas científicas. 7) Redactados en idioma inglés o español. Los artículos fueron excluidos si cumplían alguna de las siguientes condiciones: 1) Artículos de revisión bibliográfica o metaanálisis. 2) Estudios realizados en especies no rumiantes (aves, cerdos, conejos, etc.). 3) Estudios donde los cítricos se utilizaron como aditivo microscópico (aceites esenciales ó extractos) y no como reemplazo de forraje o concentrado. 4) Estudios que no reportaban datos cuantitativos de producción o composición de leche. 5) Estudios sin grupo control o sin aleatorización de los tratamientos.

Extracción de datos

Se desarrolló un formulario estandarizado de extracción de datos en Microsoft Excel® para registrar las siguientes variables de cada artículo incluido: 1) Datos de publicación: autor(es), país, año de publicación y revista. 2) Características de los animales: especie, raza, número de animales por grupo, estado fisiológico (lactación temprana, media o tardía) y duración del experimento (días). Descripción del tratamiento: tipo y forma del subproducto cítrico utilizado (pulpa fresca, deshidratada, ensilada), nivel de inclusión en la dieta (% de la materia seca), composición de la dieta control y duración del período experimental. Variables productivas: producción láctea (kg/día), contenido de grasa (%), proteína (%), y lactosa (%). Todas las variables fueron estandarizadas

ISSN electrónico: 2992-7501 4(1), 23 - 35 (Jul - Dic 2026)
https://doi.org/10.29059/cvpa.v4i1.49

a las mismas unidades de medida antes del análisis: la producción láctea se expresó en kg/d y los componentes de la leche en porcentaje (%). Cuando los estudios reportaban los datos en unidades diferentes (g/d, L/d), se realizó la conversión correspondiente utilizando el peso vivo o la densidad de la leche reportada en cada estudio. La extracción de datos fue realizada por dos autores de forma independiente, y las discrepancias fueron resueltas por consenso. En caso de datos faltantes el estudio fue excluido del análisis de esa variable específica. Los datos descriptivos fueron organizados y analizados en Microsoft Excel® versión (Microsoft 365, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Para cada especie animal y variable evaluada se calculó la media aritmética y la desviación estándar, considerando el número de observaciones reportadas en cada estudio.

Evaluación de la calidad metodológica

La calidad metodológica de los estudios incluidos fue evaluada verificando los siguientes criterios: (1) asignación aleatoria de los animales a los tratamientos, (2) descripción de la dieta experimental y del grupo control, (3) reporte del número de animales y réplicas por tratamiento, (4) inclusión de un período de adaptación, (5) duración del período experimental igual o mayor a 21 días, y (6) reporte de medidas de variabilidad (desviación estándar o error estándar). Los estudios que no cumplían con al menos cuatro de estos criterios fueron excluidos del análisis.

Resultados y Discusión

Resultados de búsqueda y características de los estudios

Se identificaron un total de 59 artículos recuperados de las bases de datos; tres fueron obtenidos de Web of Science, treinta y siete de Taylor & Francis Online, uno de ScienceDirect, diez de PubMed y ocho de Google Scholar. No se encontraron duplicados. Después del cribado, donde se revisó que el título y el resumen fueran consistentes con la metodología, se excluyeron 43 artículos siguiendo los criterios de exclusión. Ocho artículos cumplieron los criterios de inclusión para bovinos y ocho para caprinos, dando un total de 16 artículos seleccionados que fueron utilizados para los análisis descriptivos (Figura 1).

Residuos citrícolas en el consumo animal

Habeb (2023) reportó que el contenido de EM fue de 2,900 kcal/kg en residuos citrícolas, equivalente al 80% y 90% del valor energético del grano de maíz. Estos poseen alta palatabilidad por los azúcares solubles, los carbohidratos y el extracto libre de nitrógeno (ELN) que actúan como estimulantes del apetito (Cabrera-Núñez et al., 2020). La melaza de cítricos tiene un sabor ligeramente amargo, sin embargo, los bovinos consumieron hasta tres kg/d (Alnaimy et al., 2017). El efecto de la inclusión de residuos citrícolas, sobre el consumo de materia seca (CMS) en rumiantes, muestra una variabilidad en la literatura. Esto sugiere que la respuesta animal depende de la especie, tipo de residuo y su procesamiento. En becerros de engorda Friesian x Baladi, Bakr et al. (2025) reportaron que la sustitución del 50% de ensilado de maíz por ensilado de pulpa de naranja no alteró el CMS (9.16 vs. 9.15 kg/d); sin embargo, se observó una mejora en la eficiencia biológica con una mayor ganancia diaria de peso (GDP) (1.0 vs. 0.94 kg/d). En contraste, se han documentado discrepancias respecto a la palatabilidad y el llenado ruminal. Archana et al. (2024) observaron en cabras Berari una disminución significativa del CMS (182 g/d menos que el control) cuando incluyeron ensilado de cáscara de naranja. No obstante, este menor consumo no comprometió el peso corporal, los autores lo atribuyen a una optimización en la digestibilidad y el aprovechamiento de nutrientes. Esta hipótesis se ve reforzada por los hallazgos de Sabbah-Allam & El-Elaime (2020) en cabras Zaraibi, donde la inclusión de pulpa de cítricos seca incrementó los Nutrientes Digestibles Totales (NDT) de 63.49% a 66.63%, confirmando una mayor densidad energética en la dieta experimental.

La respuesta en pequeños rumiantes puede ser opuesta bajo diferentes condiciones de manejo. Mahrous et al. (2019) reportaron en corderos Barki que la sustitución con un 40% de ensilado de residuos de naranja no solo fue palatable, sino que estimuló un mayor consumo (85 g/d adicionales), esto se tradujo en un incremento de 4.5 kg en la ganancia total de peso. Estas variaciones sugieren que, si bien el residuo citrícola puede influir de manera diversa en el comportamiento ingestivo, existe un consenso sobre su capacidad para mejorar la eficiencia alimenticia y el desempeño productivo final.

Residuos citrícolas en la producción láctea de bovinos

Diversos estudios realizados en Irán, Brasil, USA, Colombia y Grecia, evaluaron la sustitución de forma parcial del maíz (en grano o molido) por subproductos cítricos (principalmente pulpa seca y pellets), en la dieta de vacas lactantes de la raza Holstein y Gyr (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de la sustitución de maíz por residuos cítricos sobre la producción y composición de la leche en hembras bovinas lactantes

Autor	País	Raza	N	Control	Tratamiento	Inclusión (%MS)	Variables
Silva et al. (2022)	Brasil	Holstein (596 ± 79)	20	Gluten de maíz	Pellets de cítricos (Ensilado maíz, mazorca, gluten, soya, algodón, minerales).	10.7	PL↑, G=, P=, L=
Carmo et al. (2015)	Brasil	Holstein (602 ± 32)	28	Maíz molido	Pulpa de cítricos seca (Ensilado maíz, maíz molido, soya, algodón, minerales)	7	PL↑, G=, P=, L=
Hall et al. (2010)	EUA	Holstein (614 ± 56)	38	Maíz molido	Pulpa de cítricos seca (Cascarilla/semilla algodón, soya, maíz, melaza)	20.4	PL=, G↑, P=
Erfani et al. (2024)	Irán	Holstein (665 ± 77)	12	Maíz molido	Pulpa de cítricos (Ensilado cebada, alfalfa, trigo, maíz, soya, grasa.)	12.3	PL↑, G=, P=, L=
Leiva et al. (2016)	Brasil	Gir x Holstein (574 ± 11)	26	Maíz molido	Pulpa de cítricos (Ensilado maíz, maíz molido, soya, minerales)	10.9	PL=, G=, P↓
Villegas-Henao et al. (2024)	Co-lom-bia	Holstein (553 ± 35)	16	Maíz	Pulpa de cítricos seca (Pasto kikuyo, maíz, salvado trigo, sorgo, arroz)	8.77	PL=, G=, P=, L=
Belibasakis & Tsirgogianni, (1996)	Gre-cia	Holstein (600)	20	Maíz molido	Pulpa de cítricos secas (Ensilado maíz, maíz molido, soya, salvado trigo)	20	PL=, G↑, P=, L=
Ananias et al. (2025)	Brasil	Gir x Holstein (608 ± 145)	15	Paja de maíz	Pulpa de cítricos seca (Heno, ensilado maíz, maíz molido, soya, algodón)	2	PL=, G=, P=, L=

PL: Producción láctea kg/d, G: Grasa en leche %, P: Proteína %, L: lactosa %, N: Número de animales usados en el estudio. MS: Materia seca, ↑↓: Los tratamientos mostraron efecto positivo o negativo en comparación con el grupo control ($p < 0,05$), =: no se detectaron diferencias entre los tratamientos ($p > 0,05$).

ISSN electrónico: 2992-7501 4(1), 23 - 35 (Jul - Dic 2026)
https://doi.org/10.29059/cvpa.v4i1.49

Los resultados muestran que su inclusión funciona como una estrategia nutricional. Con relación a la producción de leche (Tabla 2) se observó que el grupo control fue superado en un 2% al incluir los residuos citrícolas (DE: 29.25 ± 7.28 kg/d vs. DC: 28.66 ± 6.68 kg/d). La tendencia positiva también se observó en el contenido graso de la leche al presentar un 3.5% más que el grupo control (DE: 3.83 ± 0.58% vs. DC: 3.70 ± 0.52%). En contraste, el contenido de proteína fue superado por el grupo control en un 2.3% (DE: 3.06 ± 0.23% vs. DC: 3.13 ± 0.25%), los valores de lactosa no mostraron cambios (DE: 4.61 ± 0.26% vs. DC: 4.62 ± 0.25%). Por lo anterior, los hallazgos sugieren que niveles de inclusión de hasta el 20.4% de MS no comprometen el rendimiento productivo, ni la calidad de los atributos de la leche (grasa, lactosa y la proteína). Existe una tendencia favorable en la producción láctea (PL), reportada como sin cambios o incrementada en la mayoría de los estudios analizados (Carmo et al., 2015; Erfani et al., 2024; Silva et al., 2022). No obstante, la variabilidad observada en casos específicos como la reducción de proteína en niveles de inclusión moderados (Leiva, 2016), sugiere que la respuesta puede estar condicionada por el equilibrio de la ración total y el tipo de procesamiento del residuo. El contenido de grasa observó una tendencia de incremento (Belibasakis & Tsirgogianni, 1996; Hall et al., 2020) o sin cambios y la lactosa mostró una alta estabilidad, estos estudios muestran que el metabolismo mamario se adaptó eficientemente a estas fuentes de energía alternativas.

Tabla 2. Efecto de la sustitución de maíz por residuos cítricos sobre la producción y composición de la leche en hembras bovinas lactantes

	Producción (kg/d)		Grasa (%)		Proteína (%)		Lactosa (%)	
Autores	**DC**	**DE**	**DC**	**DE**	**DC**	**DE**	**DC**	**DE**
Silva et al. (2022)	29.40	30.70	3.33	3.40	3.11	3.15	4.52	4.55
Carmo et al. (2015)	29.60	31.10	3.46	3.44	3.08	3.06	4.51	4.48
Hall et al. (2010)	39.10	38.60	3.36	3.67	2.76	2.64	SD	SD
Erfani et al. (2024)	35.70	38.00	3.30	3.23	2.98	3.01	4.32	4.27
Leiva et al. (2016)	22.70	21.30	4.25	4.37	3.54	3.14	SD	SD
Villegas-Henao et al. (2024)	18.70	19.20	3.21	3.39	2.96	2.86	4.75	4.75
Belibasakis & Tsirgogianni (1996)	23.10	23.60	4.12	4.48	3.22	3.25	5.05	5.03
Ananias et al. (2025)	30.99	31.50	4.54	4.69	3.42	3.39	4.54	4.55
Promedio	28.66	29.25	3.70	3.83	3.13	3.06	4.62	4.61
Desviación estándar	6.88	7.28	0.52	0.58	0.25	0.23	0.25	0.26

DC: Dieta control con maíz, DE: Dieta experimental con inclusión de residuos cítricos, SD: Sin datos.

La literatura sugiere una respuesta lineal positiva ante la inclusión de subproductos cítricos en niveles moderados. Sin embargo, existen investigaciones como el de Hall et al. (2010) que demuestran que niveles de sustitución superiores al 20% de la MS no provocan un incremento adicional de la producción láctea (38.6 vs. 39.1 kg/d). Esta ausencia de significancia estadística, incluso con una alta densidad energética en la dieta, puede atribuirse a la interacción asociativa de los ingredientes. La dieta base en este estudio incluyó fuentes de carbohidratos de fermentación rápida como melaza y sacarosa, además de cascarilla de algodón como fuente de fibra. Es posible que la alta tasa de degradación de las pectinas de la pulpa cítrica, sumada a los azúcares presentes, haya alcanzado un punto de saturación en la capacidad de síntesis de proteína microbiana o una tasa de pasaje más acelerada, limitando el beneficio marginal de la sustitución. Este estudio confirma que, aunque no exista un incremento productivo, la pulpa cítrica es capaz de mantener altos niveles en la PL

(cercanos a los 40 kg/d), posicionándose como un sustituto seguro del maíz que no compromete la estabilidad ruminal ni el rendimiento de vacas de alta producción, siempre que se mantenga un equilibrio adecuado con fuentes de fibra efectiva.

Residuos citrícolas en la producción láctea de caprinos

Estudios realizados en Egipto, España y México, sustituyeron parcialmente las fuentes energéticas tradicionales (maíz molido y paja de trigo) por subproductos cítricos (pulpa de naranja seca, ensilado de naranja, pulpa de limón y cáscara) en la dieta de cabras lactantes de la raza Barki, Payoya, Zaribi, Murciano-Granadina y Boer-Saanen (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto de la sustitución de maíz por residuos citrícolas sobre la producción y composición de la leche en cabras lactantes.

Autor	País	Raza	N	Control	Tratamiento	Inclusión (% MS)	Variables
El-Zaiat et al. (2022)	Egipto	Barki (46.3 ± 1.6)	40	Paja de trigo	Ensilado de naranja (Paja trigo, maíz, semilla algodón, linaza)	40	PL↑,G=,P=,L=
Guzmán et al. (2021)	España	Payoya (42.2 ± 0.61)	44	Maíz molido	Pulpa de naranja seca (alfalfa, avena, maíz, cebada, soya)	40	PL=,G=,P=,L=
Sayed et al. (2021)	Egipto	Zaribi (34.1 ± 3.75)	24	Maíz molido	Pulpa de limón (Heno trébol, algodón, maíz, salvado, melaza)	25	PL↑,G↓,P=, L=
Guzmán et al. (2020)	España	Payoya (38.9 ± 0.65)	44	Maíz molido	Pulpa de naranja seca (Alfalfa, avena, maíz, cebada, soya)	40	PL=,G=,P=,L=
Marcos et al. (2020)	España	Murciano-Granadina (51.5 ± 1.8)	12	Maíz molido	Pulpa de cítricos seca (Alfalfa, maíz, cebada, trigo, soya)	9	PL↑,G↑,P↑,L=
Sabbah-Allam & El-Elaime (2020)	Egipto	Zaraibi (45)	15	Maíz molido	Pulpa de cítricos seca (Heno alfalfa, maíz, algodón, soya.)	7.5	PL↑,G=,P=,L=
Ibáñez et al. (2016)	España	Murciano-Granadina (42.1 ± 1.2)	12	Maíz	Pulpa de naranja (fresca) (Alfalfa, soya, cebada, cascarilla soya)	59.4	PL=,G=,P=,L=
Hernández-Meléndez et al. (2015)	México	Boer-Saanen (39.2 ± 2.3)	24	Maíz molido	Cáscara de naranja seca (C. ciliaris, pasta soya, sorgo, melaza)	30	PL↑,G↑, P=,L=

PL: Producción láctea kg/d, G: Grasa en leche %, P: Proteína %, L: lactosa %, N: Número de animales usados en el estudio. MS: Materia seca, ↑↓: Los tratamientos mostraron efecto positivo o negativo en comparación con el grupo control ($p < 0,05$), =: no se detectaron diferencias entre los tratamientos ($p > 0,05$).

En la producción láctea de los estudios analizados, el grupo alimentado con residuos citrícolas (Tabla 4) superó al grupo control en un 4% (Ejemplo: DE: 1.48 ± 0.48 kg/d vs. DC: 1.42 ± 0.56 kg/d). La misma tendencia se observó en el contenido graso de la leche, con un incremento aproximado del

ISSN electrónico: 2992-7501 4(1), 23 - 35 (Jul - Dic 2026)
https://doi.org/10.29059/cvpa.v4i1.49

5% respecto al control, especialmente en dietas con pulpa seca. La lactosa mostró una estabilidad, con variaciones mínimas entre los grupos experimentales y el control, manteniendo la calidad bromatológica del producto. En contraste, el contenido de proteína fue superado por el grupo control en un 2%. En consecuencia, los hallazgos mostraron que niveles de inclusión sustancialmente altos, de hasta 59.4% de la MS (Ibáñez et al., 2016), no comprometieron significativamente la producción láctea ni sus atributos fisicoquímicos (p >0.05), no obstante, se observó una ligera disminución en la producción de leche (DE: 2.010 kg/d vs. DC: 2.290 kg/d). Sin embargo, niveles de inclusión de 25-40% de la MS, mostraron una tendencia favorable en la PL, en la mayoría de los estudios analizados (El-Zaiat et al., 2022; Hernández-Meléndez et al., 2015; Marcos et al., 2020; Sayed et al., 2021; Sabbah-Allam et al., 2020). La variabilidad observada en parámetros específicos, como la reducción de grasa detectada al utilizar pulpa de limón (Sayed et al., 2021), sugiere que la respuesta puede estar condicionada por el tipo de cítrico y el equilibrio de la dieta. En general, la grasa mostró una tendencia al incremento en estudios con cáscara y pulpa seca (Hernández-Meléndez et al., 2015; Marcos et al., 2020) o se mantuvo sin cambios, mientras que la lactosa y

Tabla 4. Efecto de la sustitución de maíz por residuos citrícolas sobre la producción y composición de la leche en cabras lactantes.

	Producción (kg/d)		Grasa (%)		Proteína (%)		Lactosa (%)	
Autores	**DC**	**DE**	**DC**	**DE**	**DC**	**DE**	**DC**	**DE**
El-Zaiat et al. (2022)	0.586	0.699	3.46	3.45	3.57	3.53	3.73	3.74
Guzmán et al. (2021)	1.340	1.280	3.85	4.00	3.20	3.30	4.43	4.39
Sayed et al. (2021)	1.377	1.558	3.35	3.15	2.45	2.77	3.94	3.44
Guzmán et al. (2020)	1.620	1.670	3.78	3.53	2.94	2.94	4.64	4.64
Marcos et al. (2020)	1.967	2.123	4.58	4.78	3.18	3.29	5.21	5.29
Sabbah-Allam & El-Elaime (2020)	1.420	1.520	3.40	3.50	3.41	3.56	4.50	4.60
Ibáñez et al. (2016)	2.290	2.010	5.40	6.30	4.00	3.70	4.60	4.70
Hernández-Meléndez et al. (2015)	0.784	0.997	3.97	4.54	4.06	4.14	4.91	4.74
Promedio	1.423	1.482	4.00	4.20	3.40	3.40	4.50	4.40
Desviación estándar	0.56	0.48	0.70	1.00	0.50	0.40	0.50	0.60

DC: Dieta control con maíz, DE: Dieta experimental con inclusión de residuos cítricos

la proteína se mostraron estables, los resultados mostraron que el metabolismo mamario de los caprinos se adaptó con eficiencia a estas fuentes de energía.

Comparación entre especies

Al contrastar los resultados entre especies, se observa una diferencia entre la capacidad de inclusión y la respuesta productiva. En bovinos la sustitución de maíz por residuos citrícolas se mantiene en niveles discretos (inferiores al 21% de la MS) para evitar alteraciones en la fermentación ruminal, mientras que en caprinos se reportaron niveles de inclusión de hasta el 59.4% (Ibáñez et al., 2016) sin comprometer la calidad de la leche. Esta mayor tolerancia en cabras podría estar relacionada con su comportamiento alimenticio y fisiología digestiva, que les permite aprovechar subproductos con altos contenidos de carbohidratos solubles y pectinas. En los caprinos, la respuesta positiva en la producción láctea fue más frecuente (62.5%) en comparación con los bovinos (37.5%).La evidencia sugiere que los residuos cítricos representan una alternativa económica para pequeños rumiantes y podrían tener un potencial como promotores del rendimiento lácteo bajo condiciones de pastoreo o dietas basadas en forrajes de baja calidad.

En contraste con los bovinos, donde la inclusión de residuos cítricos es < 21% de MS, los resultados reportados en cabras sugieren una mayor capacidad de tolerancia digestiva, con inclusiones cerca del 60% de la MS (Ibáñez et al., 2016). No obstante, su mejor rendimiento productivo se observó con inclusiones del 25-40% de la MS (El-Zaiat et al., 2022; Sayed et al., 2021). Estos hallazgos podrían estar relacionados con el comportamiento alimenticio de las cabras, clasificadas frecuentemente como seleccionadoras de concentrados o rumiantes intermedios, esto les podría permitir tolerar mejor las dietas con altos contenidos de pectinas de rápida fermentación y favorecer una utilización mes estable de los carbohidratos solubles. Sin embargo, en bovinos de alta producción, niveles similares podrían inducir a acidosis ruminal o depresión de la grasa láctea. Desde una perspectiva de economía circular los hallazgos sugieren que, en regiones con alta disponibilidad de residuos cítricos, los sistemas caprinos podrían operar con menor dependencia de granos tradicionales (como el maíz), transformando un residuo industrial, en un recurso de densidad energética, con posibles beneficios productivos.

CONCLUSIONES

La inclusión de residuos cítricos en la dieta de rumiantes parece estar condicionada por la especie. En bovinos, niveles moderados (≤ 21% MS) permiten mantener la estabilidad ruminal sin comprometer la producción. En caprinos, aunque se han reportado tolerancias altas, los mejores resultados productivos se observan con inclusiones de 25-40% MS. Esto permite reclasificar estos subproductos como una alternativa económica alineada con la economía circular, con potencial para favorecer la productividad en sistemas caprinos bajo condiciones nutricionales restrictivas.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Todos los autores contribuyeron de igual manera en la concepción o diseño del trabajo, redacción, revisión crítica y final del manuscrito.

REFERENCIAS

Achilonu, M., Shale, K., Arthur, G., Naidoo, K., & Mbatha, M. (2018). Phytochemical benefits of agroresidues as alternative nutritive dietary resource for pig and poultry farming. *Journal of Chemistry*, 2018. https://doi.org/10.1155/2018/1035071

Alnaimy, A., Gad, A., Mustafa, M., Atta, M., & Basuony, H. (2017). Using of citrus by-products in farm animals feeding. *Open Access Journal of Science*, *1*(3), 58-67. https://doi.org/10.15406/oajs.2017.01.00014

Ananias, J. V., De Matos, A., Pinto, F., Ribeiro, V., Goncalves, C., & De Paula, A. (2025). Effects of total dietary silage with corn and citric acid byproducts on lactating cow intake, digestibility, blood parameters, ingestive behaviour, and performance. *Journal of Applied Animal Research*, *53*(1), 1-8. https://doi.org/10.1080/09712119.2025.2467125

Archana, N., Panchbhai, G. J., Badukale, D. M., Deshpande, K. Y., & Kuralkar, P. S. (2024). Effect of replacement of corn silage with orange peel silage on feed intake, body weight Change, and body condition score in Berari goat during peripartum period. *Journal of Animal Research*, *14*(02), 153-159. https://doi.org/10.30954/2277-940X.02.2024.8

Bakr, M. (2020). Citrus pulp as an innovative feed ingredient in ruminant nutrition. a review. *Egyptian Journal of Animal Production*, *57*(1), 73-80. https://doi.org/10.21608/ejap.2020.98258

ISSN electrónico: 2992-7501 4(1), 23 - 35 (Jul - Dic 2026)
https://doi.org/10.29059/cvpa.v4i1.49

Bakr, M., Rabie, A. M., & Ghoneem, W. (2025). Impact of substituting corn silage by orange pulp silage on the productive performance and economic efficiency of Baladi crossbred calves. *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, *56*(1), 139-148. https://doi.org/10.21608/ejvs.2024.260528.1774

Belibasakis, N. G., & Tsirgogianni, D. (1996). Effects of dried citrus pulp on milk yield, milk composition and blood components of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, *60*(1-2), 87-92. https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00927-2

Budiarto, K., Andrini, A., Budiyati, E., Mariana, B., Martasari, C., Masudah, S., Yulia, N., Ikarini, I., & Yulianti, F. (2024). Bioactive phytochemical contents on fruit peel of several citrus species. *BIO Web Conferences*, 01016, 1-8.

Cabrera-núñez, A., ILammoglia-villagómez, M., Martínez-Sánchez, C., Rojas-Ronquillo, R., & Montero-solís, F. (2020). Utilización de subproductos de naranja (*Citrus sinensis* var. valencia) en la alimentación para rumiantes. *Abanico Veterinario*, *10*(1), 1-11. https://doi.org/10.21929/abavet2020.6

Carmo, C. A., Batistel, F., de Souza, J., Martinez, J. C., Correa, P., Pedroso, A. M., & Santos, F. A. P. (2015). Starch levels on performance, milk composition and energy balance of lactating dairy cows. *Tropical Animal Health and Production*, *47*(1), 179-184. https://doi.org/10.1007/s11250-014-0704-4

Costanzo, G., Vitale, E., Iesce, M. R., Naviglio, D., Amoresano, A., Fontanarosa, C., Spinelli, M., Ciaravolo, M., & Arena, C. (2022). Antioxidant properties of pulp , peel and seeds of phlegrean mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) at different stages of fruit ripening. *Antioxidants*, *11*, 187. https://doi.org/10.3390/ antiox11020187

El-Zaiat, H. M., El-Wakeel, E. S. A., Saber, A. M., Khattab, A. R., & Sallam, S. M. (2022). Influence of replacement levels of orange waste silage on intake, nutrient digestion, ruminal fermentation and milk yield in Barki goats. *Annals of Animal Science*, *22*(1), 283-303. https://doi.org/10.2478/aoas-2021-0028

Erfani, H., Ghorbani, G. R., Hashemzadeh, F., Ghasemi, E., Khademi, A. R., Naderi, N., & Drackley, J. K. (2024). Effects of complete substitution of dietary grain and protein sources with by-products on the production performance of mid-lactation dairy cows fed diets based on barley silage under heat-stress conditions. *Journal of Dairy Science*, *107*(4), 1993-2010. https://doi.org/10.3168/jds.2022-23179

FAO. (2021). *Ciudades y comunidades sostenibles*. United Nations Department of Economic and Social Affairs (pp. 48-49). https://doi.org/10.18356/9789210056106c015

FAOSTAT. (2026). Cultivos y productos de ganadería. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL

Fernández-Fernández, A., Dellacassa, E., Nardin, T., Larcher, R., Gámbaro, A., Medrano-fernandez, A., & Dolores del Castillo, M. (2021). *In Vitro* bioaccessibility of bioactive compounds from citrus. *Molecules*, 1–18.

Guzmán, J. L., Martín-García, I., Pérez-Écija, A., García-Brenes, M. D., Zarazaga, L. Á., & Manuel Delgado-Pertíñez. (2021). Supplementing the diet of dairy goats with dried orange pulp. *Animals*. https://doi.org/10.3390/ani11092601

Guzmán, J. L., Perez-Ecija, A., Zarazaga, L. A., Martín-García, A. I., Horcada, A., & Delgado-Pertíñez, M. (2020). Using dried orange pulp in the diet of dairy goats: effects on milk yield and composition and blood parameters of dams and growth performance and carcass quality of kids. *Animal*, *14*(10), 2212-2220. https://doi.org/10.1017/S1751731120000932

Habeeb, A. A. M. (2023). Importance of utilization of *Citrus* by-product waste in ruminant animal nutrition. *Indiana Journal of Agriculture and Life Sciences*, *3*(4), 1-9. https://doi.org/10.5281/

zenodo.8195354

Hall, M. B., Larson, C. C., & Wilcox, C. J. (2010). Carbohydrate source and protein degradability alter lactation, ruminal, and blood measures. *Journal of Dairy Science*, *93*(1), 311-322. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2552

Hernández-Meléndez, J., González-Reyna, A., Rojo, R., Sánchez-Dávila, F., Salvador, A., & Vázquez-Armijo, J. F. (2015). Producción y composición de la leche de cabras alimentadas con diferentes inclusiones de cáscara de naranja deshidratada. *Revista Cientifica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*. http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84949552154&partnerID=MN8TOARS

Ibáñez, C., Criscioni, P., Arriaga, H., Merino, P., Espinós, F. J., & Fernández, C. (2016). Murciano-granadina goat performance and methane emission after replacing barley grain with fibrous by-products. *PLoS ONE*, *11*(3), 1-21. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151215

Jalal, H., Giammarco, M., Lanzoni, L., Akram, M. Z., Mammi, L. M. E., Vignola, G., Chincarini, M., Formigoni, A., & Fusaro, I. (2023). Potential of fruits and vegetable by-products as an alternative feed source for sustainable ruminant nutrition and production: A Review. *Agriculture* (Switzerland), *13*(2). https://doi.org/10.3390/agriculture13020286

Leiva, T., Cooke, R. F., Brandão, A. P., Pardelli, U., Rodrigues, R. O., Corrá, F. N., & Vasconcelos, J. L. M. (2016). Effects of concentrate type and chromium propionate on insulin sensitivity, productive and reproductive parameters of lactating dairy cows consuming excessive energy. *Animal*, *11*(3), 436-444. https://doi.org/10.1017/S1751731116001713

Mahato, N., Sharma, K., Sinha, M., Raj, E., Koteswararao, R., Dhyani, A., Hwan, M., & Cho, S. (2020). Bio-sorbents , industrially important chemicals and novel materials from citrus processing waste as a sustainable and renewable bioresource : A review. *Journal of Advanced Research*, *23*, 61-82. https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.01.007

Mahrous, A., Karkoutli, A., El-Tahan, A., Hafez, Y., Abu El-Alla, A., & Moussa, S. (2019). Replacing corn silage by orange waste silage in lactating Damascus goats ration. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, *22*(2), 95-102. https://doi.org/10.21608/ejnf.2019.103435

Maqbool, Z., Khalid, W., Atiq, H. T., Koraqi, H., Javaid, Z., Alhag, S. K., Al-Shuraym, L. A., Bader, D. M. D., Almarzuq, M., Afifi, M., & AL-Farga, A. (2023). Citrus waste as source of bioactive compounds: extraction and utilization in health and food industry. *Molecules*, *28*(4). https://doi.org/10.3390/molecules28041636

Marcos, C. N., Carro, M. D., Fernández Yepes, J. E., Haro, A., Romero-Huelva, M., & Molina-Alcaide, E. (2020). Effects of agroindustrial by-product supplementation on dairy goat milk characteristics, nutrient utilization, ruminal fermentation, and methane production. *Journal of Dairy Science*, *103*(2), 1472-1483. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17386

Nargeszadeh, V., Rouzbehan, Y., Fazaeli, H., & Rezaei, J. (2024). Effects of an ensiled mixture based on orange pulp on the intake and performance of fattening male lambs. *Animal Feed Science and Technology*, *309*, 115897. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115897

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*, 71. https://doi.org/https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Russo, C., Maugeri, A., Lombardo, G. E., Musumeci, L., Barreca, D., Rapisarda, A., Cirmi, S., & Navarra, M. (2021). The second life of citrus fruit waste: valuable source of bioactive compounds. *Molecules*, *26*(19), 1-20. https://doi.org/10.3390/molecules26195991

Sabbah-Allam, & El-Elaime, R. (2020). Performance of goats fed dried orange and citrus pulps as enerrgy source. 1– impact of feeding dried orange or citrus pulps on milk production and composition. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, *23*(3), 349–358. https://doi.org/

ISSN electrónico: 2992-7501 4(1), 23 - 35 (Jul - Dic 2026)
https://doi.org/10.29059/cvpa.v4i1.49

10.21608/ejnf.2020.148116

Saeed, M., Kamboh, A. A., & Huayou, C. (2023). Promising future of citrus waste into fermented high-quality bio-feed in the poultry nutrition and safe environment. *Poultry Science*, *103*(4), 103549. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103549

Sayed, H. A. E., El-Maghraby, M. M., & Elbadawy, M. M. (2021). Effect of processed lemon pulp with *Saccharomyces cerevisiae* in Zaribi goats diet on milk production, nutrients digestibility, blood parameters, and reproductive performance. *World's Veterinary Journal*, *11*(3), 422-430. https://doi.org/10.54203/scil.2021.wvj54

SIAP, (2024). Anuario estadístico de la producción agrícola. Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Acciones y Programas. Cierre de la producción agricola. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Silva, A. L., Santos, B. R. C., Perazzo, A. F., Cesar Neto, J. M., Santos, F. N. S., Pereira, D. M., & Santos, E. M. (2019). Haylage: a forage conservation alternative. *Nucleus Animalium*, *11*(1), 37-44. https://doi.org/10.3738/21751463.3560

Silva, W. R., Carvalho, F. R., Silva, R. B., Pereira, R. A. N., Ávila, C. L. S., DeVries, T. J., & Pereira, M. N. (2022). Fibrous coproducts of corn and citrus as forage and concentrate sources for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *105*(10), 8099-8114. https://doi.org/10.3168/jds.2022-21918

Tayengwa, T., & Mapiye, C. (2018). Citrus and winery wastes: Promising dietary supplements for sustainable ruminant animal nutrition, health, production, and meat quality. *Sustainability*, *10*(10), 1-22. https://doi.org/10.3390/su10103718

Teixeira, I. A. M. A., Härter, C. J., Vargas, J. A. C., Souza, A. P., & Fernandes, M. H. M. R. (2024). Review: Update of nutritional requirements of goats for growth and pregnancy in hot environments. *Animal*, *18*, 101219. https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101219

Villegas-Henao, G. A., Posada-Ochoa, S. L., & Rosero-Noguera, R. (2024). Efecto de la fuente de carbohidratos sobre el balance energético-nitrogenado y las emisiones de metano de vacas lecheras lactantes. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, *35*(2), e24796. https://doi.org/10.15381/rivep.v35i2.24796

Wodajo, H. D., Gemeda, B. A., Kinati, W., Mulem, A. A., van Eerdewijk, A., & Wieland, B. (2020). Contribution of small ruminants to food security for Ethiopian smallholder farmers. *Small Ruminant Research*, *184*(February 2019), 106064. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106064

Xu, S., Dai, X., Zhao, W., Yang, X., & Tang, R. (2026). Systematic comparison of the effects of different treatments on the shelf-life storage of citrus fruits and screening of preservation measures: A frequency network meta-analysis. *Food Chemistry: X*, *34*, 103583. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2026.103583