



Milk yield and fatty acid profile in milk of small dairy ruminants supplemented with hemp (*Cannabis sativa* L.) seed products: A meta-analysis

Rendimiento y perfil de ácidos grasos en leche de pequeños rumiantes suplementados con productos derivados de semillas de cáñamo (*Cannabis sativa* L.): un metaanálisis

Juan Eduardo Godina-Rodríguez¹; Jonathan Raúl Garay-Martínez²;
José Felipe Orzuna-Orzuna^{3*}; Alejandro Lara-Bueno³; Pedro
Abel Hernández-García⁴; Gabriela Vázquez-Silva⁵

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de Apatzingán. Carretera Apatzingán-Cuatro Caminos km 17.5, Parácuaro, Michoacán, C. P. 60781, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Las Huastecas. Carretera Tampico-Mante km 55, Altamira, Tamaulipas, C. P. 89610, México.

³Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, México.

⁴Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Amecameca-Ayapango km 2.5, Amecameca de Juárez, Estado de México, C. P. 56900, México.

⁵Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco. Calzada del Hueso, núm. 1100, Coyoacán, Ciudad de México, C. P. 04960, México.

*Corresponding author: jforzuna@gmail.com

Abstract

The objective of the current study was to evaluate the effects of dietary inclusion of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed products (HSP) on milk yield, milk composition, and milk fatty acid profile of small dairy ruminants (sheep and goats) through a meta-analysis. The inclusion of HSP in diets significantly increased ($p < 0.05$) milk yield, milk fat content and yield, milk protein yield, milk lactose yield. Simultaneously, these products significantly decreased ($p < 0.05$) lactose content, somatic cell count, the concentration of several fatty acids (lauric, myristic, pentadecanoic, palmitic, and heptadecanoic), total saturated fatty acids, the omega-6/omega-3 ratio, the atherogenic index, and the thrombogenic index. In contrast, a significant increase ($p < 0.05$) was observed in the concentrations of linoleic, vaccenic, conjugated linoleic, α -linolenic, arachidic, eicosapentaenoic, and docosahexaenoic acids, as well as in the total content of monounsaturated, polyunsaturated, and omega-3 fatty acids. These results indicate that the use of HSP in the diets of small dairy ruminants improves both milk yield and composition, as well as the fatty acid profile.

Keywords: *Cannabis sativa*, milk quality, feed supplement, dairy sheep, dairy goats, dairy cows.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar, mediante un metaanálisis, los efectos de la suplementación con productos derivados de semillas de cáñamo (*Cannabis sativa* L.) (PDSC) en la dieta de pequeños rumiantes lecheros (ovejas y cabras) sobre la producción de leche, su composición y el perfil de ácidos grasos. La incorporación de PDSC en las dietas incrementó significativamente ($p < 0.05$) el rendimiento de la leche, el contenido y rendimiento de la grasa de la leche, el rendimiento de proteína de la leche y el rendimiento de lactosa. Simultáneamente, dichos productos disminuyeron significativamente ($p < 0.05$) el contenido de lactosa, el recuento de células somáticas, la concentración de algunos ácidos grasos (láurico, mirístico, pentadecanoico, palmítico y heptadecanoico), el contenido total de ácidos grasos saturados, la relación omega-6/omega-3, el índice aterogénico y el índice trombogénico. En contraste, se observó un aumento significativo ($p < 0.05$) en la concentración de los ácidos linoleico, vaccénico, linoleico conjugado, α -linolénico, araquídico, eicosapentaenoico y docosahexaenoico, así como en el contenido total de ácidos grasos monoinsaturados, poliinsaturados y omega-3. Los resultados indican que el uso de PDSC en la dieta de pequeños rumiantes lecheros mejora tanto el rendimiento como la composición de la leche, así como el perfil de ácidos grasos.

Palabras clave: *Cannabis sativa*, calidad de la leche, suplemento alimenticio, ovejas lecheras, cabras lecheras, vacas lecheras.

Please cite this article as follows (APA 7): Godina-Rodríguez, J. E., Garay-Martínez, J. R., Orzuna-Orzuna, J. F., Lara-Bueno, A., Hernández-García, P. A., & Vázquez-Silva, G. (2025). Milk yield and fatty acid profile in milk of small dairy ruminants supplemented with hemp (*Cannabis sativa* L.) seed products: A meta-analysis. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 24, e2505. <https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2025.07.05>



Revista Chapingo
Serie Zonas Áridas

Introduction

According to Adesogan and Dahl (2020), global demand for ruminant milk is expected to increase by up to 35 % over the next decade, primarily due to population growth worldwide. Furthermore, in some countries, there is currently a high proportion (approximately 20 %) of milk consumers with a high propensity to seek, purchase, and consume ruminant milk that is low in saturated fat and high in unsaturated fat (Tabacco et al., 2021). Although whole ruminant milk is a food high in essential nutrients (carbohydrates, proteins, fats, vitamins, minerals) for humans, milk fat contains a high proportion of saturated fatty acids (SFA) and a low amount of monounsaturated fatty acids (MUFA) and polyunsaturated fatty acids (PUFA) (Graulet, 2014).

According to Astrup et al. (2020), a high intake of SFA from dairy products has been associated with a higher incidence of cardiovascular disease (CVD) in humans. In contrast, replacing SFA with MUFA and PUFA in the human diet decreases serum cholesterol, atherosclerosis, and the incidence of CVD (Briggs et al., 2017). Consequently, there is currently a growing interest in identifying new nutritional strategies that enhance milk yield and improve the fatty acid profile of dairy ruminant milk (Orzuna-Orzuna et al., 2024). The inclusion of fish oil, protected fats, and oilseed oil in dairy ruminant diets has been commonly used as a nutritional strategy to improve milk fatty acid profile (Kokić et al., 2024; Orzuna-Orzuna et al., 2023). However, Bailoni et al. (2021) reported that hemp (*Cannabis sativa* L.) seed products (HSP) have a high potential to improve milk yield and milk fatty acid profile of ruminants due to their nutrient, MUFA, and PUFA content.

Hemp is an annual herbaceous plant with broad climatic adaptability and cultivation potential in various regions of the world (Taşkesen and Tüfekci, 2024). Traditionally, its stems are used to obtain fibers to produce paper and textiles (Bailoni et al., 2021). In contrast, leaves, flowers, and HSP (whole seeds, seed meal, and seed oil) have been traditionally used in religious ceremonies and the pharmaceutical chemical industry for medicinal purposes (Muedi et al., 2024).

HSPs contain high levels of crude protein content (281-507 g·kg⁻¹ of dry matter [DM]) and an essential amino acid profile comparable to that of commonly used protein sources in ruminant diets, such as soybean, canola, cottonseed, sunflower, flaxseed, and dried distillers grains (Altman et al., 2024; Semwogerere et al., 2020). In addition, both hemp seeds and hemp oil contain around 80 % MUFA and PUFA, which may help improve the fatty acid profile of milk (Mohamed & House, 2024). In addition, HSPs contain cannabinoids, isoflavones and terpenes with antimicrobial, antioxidant, and

Introducción

De acuerdo con Adesogan y Dahl (2020), se espera que la demanda global de leche proveniente de rumiantes incremente hasta un 35 % durante la próxima década, principalmente como consecuencia del crecimiento poblacional a nivel mundial. Además, en algunos países se observa un aumento de consumidores de leche (aproximadamente 20 %), con una marcada tendencia a buscar, adquirir y consumir leche de rumiantes con bajo contenido de ácidos grasos saturados y alto contenido de ácidos grasos insaturados (Tabacco et al., 2021). Si bien la leche entera de rumiantes es un alimento rico en nutrientes esenciales (carbohidratos, proteínas, grasas, vitaminas y minerales) para los seres humanos, su grasa contiene más ácidos grasos saturados (AGS) y menos ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y poliinsaturados (AGPI) (Graulet, 2014).

La ingesta elevada de AGS derivados de productos lácteos se ha asociado con el incremento en la aparición de enfermedades cardiovasculares (ECV) en humanos (Astrup et al., 2020). Por el contrario, la sustitución de AGS por AGMI y AGPI contribuye a disminuir el colesterol sérico y la incidencia de aterosclerosis y ECV (Briggs et al., 2017). En consecuencia, existe un interés creciente por desarrollar estrategias nutricionales que, además de optimizar la producción de leche, mejoren el perfil de ácidos grasos en la leche de rumiantes (Orzuna-Orzuna et al., 2024). Entre las estrategias evaluadas, la suplementación de la dieta de rumiantes con aceite de pescado, grasas protegidas y aceites provenientes de semillas oleaginosas se ha utilizado para modificar el perfil de ácidos grasos de la leche (Kokić et al., 2024; Orzuna-Orzuna et al., 2023). En este sentido, Bailoni et al. (2021) mencionan que los productos derivados de semillas de cáñamo (*Cannabis sativa* L.) tienen un gran potencial para mejorar tanto el rendimiento como el perfil de ácidos grasos debido a su contenido nutricional de AGMI y AGPI.

El cáñamo es una planta herbácea de ciclo anual con amplia adaptabilidad climática y potencial de cultivo en diversas regiones del mundo (Taşkesen & Tüfekci, 2024). Tradicionalmente, sus tallos se utilizan para la obtención de fibras destinadas a la producción de papel y textiles (Bailoni et al., 2021), mientras que las hojas, las flores y los productos derivados de las semillas (PDSC: semillas enteras, harina de semillas y aceite de semilla) se emplean en ceremonias religiosas, así como en la industria farmacéutica y química con fines medicinales (Muedi et al., 2024).

Los PDSC poseen un alto contenido de proteína cruda (281-507 g·kg⁻¹ de materia seca [MS]) y un perfil de aminoácidos esenciales comparable al observado en ingredientes utilizados comúnmente como fuente de proteína en dietas para rumiantes, como soya, canola,

anti-inflammatory properties, which can improve the health of dairy ruminants and lead to higher milk yield (Kalaitzidis et al., 2023; Taşkesen & Tüfekci, 2024).

HSPs have been successfully used to improve productive performance and fatty acid profile in ruminant meat (Semwogerere et al., 2020), poultry meat (Fabro et al., 2021), and pig meat (Mourot & Guillevic, 2015). However, in lactating dairy ruminants, the effects of HSPs have been variable (Bailoni et al., 2021). Some studies reported no significant changes in milk production or composition (Addo et al., 2023a; Mierliță, 2018; Šalavardić et al., 2021), while others observed positive effects from supplementation with low doses of HSPs (90 to 143 g·kg⁻¹ DM) (Cremonesi et al., 2022; Karlsson et al., 2010; Mierliță et al., 2023). These discrepancies may be attributed to differences in the type of HSP used (whole seed, meal, or oil), the dosage, the animal species, and the duration of the study (Altman et al., 2024; Bailoni et al., 2021; Mohamed & House, 2024; Muedi et al., 2024). Nevertheless, studies reporting positive effects are largely based on qualitative information without a systematic approach (Gregory & Denniss, 2018).

Meta-analysis studies use standardized methodologies for data search, selection and statistical analysis, allowing for a quantitative estimation of the magnitude of treatment effects (Finckh & Tramèr, 2008). Recently, Fabro et al. (2021) evaluated the effects of dietary inclusion of HSP on productive performance and egg fatty acid profile in laying hens. However, no studies were found that use meta-analysis to evaluate the effects of HSP in dairy ruminants. Therefore, the objective of this study was to assess, through a meta-analysis, the effects of dietary HSP supplementation in small dairy ruminants (sheeps and goats) on milk yield, milk composition, and fatty acid profile.

Materials and methods

Literature search

The research question was formulated following the PICO format (Hosseini et al., 2024), where the population (P) was small dairy ruminants (sheep, goats), the intervention (I) corresponded to HSP supplementation, the comparison (C) was between diets supplemented with or without HSP, and the outcomes (O) were the reported data on milk yield, milk composition, and milk fatty acid profile.

The process of searching and selecting scientific articles was carried out in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines (Page et al., 2021) (Figure 1). Literature searches were conducted in the electronic databases PubMed, ScienceDirect, Scopus,

semilla de algodón, girasol, linaza y granos secos de destilería (Altman et al., 2024; Semwogerere et al., 2020). Además, tanto las semillas como el aceite de cáñamo contienen aproximadamente 80 % de AGMI y AGPI, lo cual podría contribuir a mejorar el perfil de ácidos grasos de la leche (Mohamed & House, 2024). Asimismo, los PDSC contienen cannabinoides, isoflavonas y terpenos con propiedades antimicrobianas, antioxidantes y antiinflamatorias, que pueden mejorar la salud de los rumiantes y aumentar la producción de leche (Kalaitzidis et al., 2023; Taşkesen & Tüfekci, 2024).

Diversos estudios han demostrado que los PDSC pueden mejorar el desempeño productivo y el perfil de ácidos grasos en la carne de rumiantes (Semwogerere et al., 2020), aves (Fabro et al., 2021) y cerdos (Mourot & Guillevic, 2015). Sin embargo, en rumiantes lecheros en periodo de lactancia, los efectos de los PDSC han sido variables (Bailoni et al., 2021). Algunos autores no observaron cambios significativos en la producción y composición de la leche (Addo et al., 2023a; Mierliță, 2018; Šalavardić et al., 2021), mientras que otros reportaron efectos positivos derivados de la suplementación con dosis bajas de PDSC (90 a 143 g·kg⁻¹ MS) (Cremonesi et al., 2022; Karlsson et al., 2010; Mierlita et al., 2023). Estas discrepancias se pueden atribuir a diferencias en el tipo de PDSC utilizado (semilla entera, harina o aceite), la dosis, la especie animal y la duración del experimento (Altman et al., 2024; Bailoni et al., 2021; Mohamed & House, 2024; Muedi et al., 2024). No obstante, las investigaciones que reportan efectos positivos se basan en información cualitativa sin un enfoque sistemático (Gregory & Denniss, 2018).

Los estudios de metaanálisis emplean procedimientos estandarizados para la búsqueda, selección y análisis estadístico de datos, lo cual permite estimar cuantitativamente la magnitud del efecto de los tratamientos (Finckh & Tramèr, 2008). Recientemente, Fabro et al. (2021) evaluaron los efectos de la inclusión de PDSC sobre el rendimiento y el perfil de ácidos grasos en huevos de gallinas ponedoras. No obstante, no se encontraron estudios que utilicen metaanálisis para evaluar los efectos de los PDSC en rumiantes lecheros. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar, mediante un metaanálisis, los efectos de la suplementación con PDSC en la dieta de pequeños rumiantes lecheros (ovejas y cabras) sobre la producción de leche, su composición y el perfil de ácidos grasos.

Materiales y métodos

Búsqueda de literatura

La pregunta de investigación se formuló conforme al formato PICO (Hosseini et al., 2024), donde la población (P) correspondió a pequeños rumiantes lecheros (ovejas, cabras), la intervención (I) fue la suplementación con

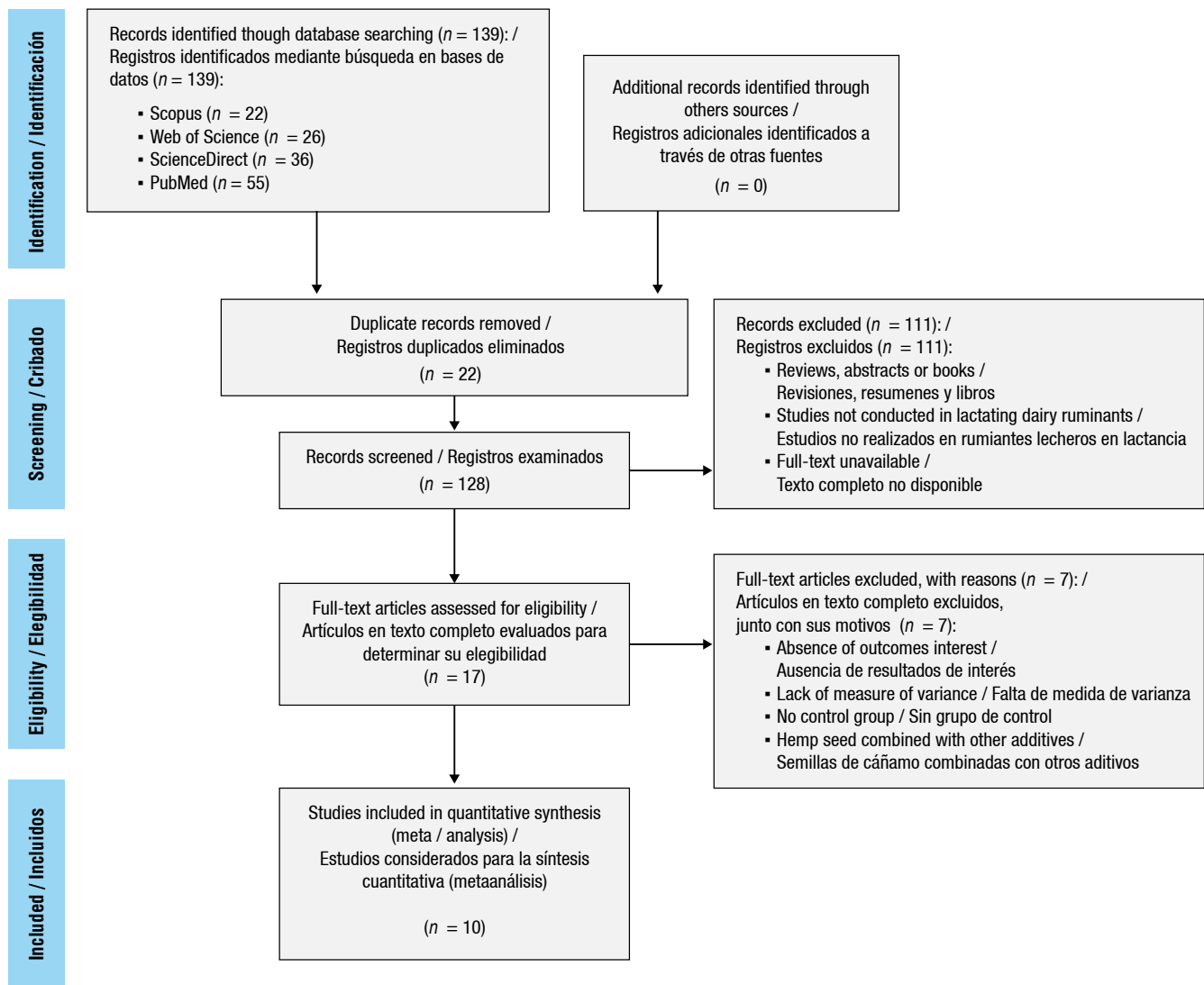


Figure 1. Flow diagram of the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) considered for the literature search and study selection for the meta-analysis.

Figura 1. Diagrama de flujo de los elementos de reporte preferidos para revisiones sistemáticas y metaanálisis (PRISMA) considerados para la búsqueda bibliográfica y la selección de estudios para el metaanálisis.

and Web of Science, considering only articles published in English between January 2015 and May 2025, using the following keywords: dairy sheep, dairy goats, milk yield, milk composition, and milk fatty acid profile.

Exclusion and inclusion criteria

The following exclusion criteria were applied: 1) studies that used non-lactating small dairy ruminants (sheep, goats); 2) theses, books, reviews, and conference proceedings; 3) studies that combined HSP with another feed additive or with antibiotics. On the other hand, the following inclusion criteria were considered: 1) experimental studies using lactating small dairy ruminants (sheep, goats); 2) scientific articles published in English between January 2015 and May 2025 in peer-

PDSC, la comparación (C) se realizó entre dietas con o sin PDSC, y los resultados (R) fueron los datos reportados sobre la producción de leche, su composición y el perfil de ácidos grasos.

El proceso de búsqueda y selección de artículos científicos se realizó conforme a las directrices de los elementos de reporte preferidos para revisiones sistemáticas y metaanálisis (PRISMA, por sus siglas en inglés) (Page et al., 2021) (Figura 1). Las búsquedas bibliográficas se efectuaron en las bases de datos electrónicas PubMed, ScienceDirect, Scopus y Web of Science, considerando únicamente artículos publicados en inglés entre enero de 2015 y mayo de 2025 con las siguientes palabras clave: *dairy sheep*, *dairy goats*, *milk yield*, *milk composition* y *milk fatty acid profile*.

reviewed scientific journals; 3) studies that include a control diet without HSP and at least one treatment with HSP supplementation; 4) experimental studies reporting treatment means, number of replicates (n), and standard error (SEM) or standard deviation (SD) of at least one response variable on milk yield, milk composition, or fatty acid profile in milk from small dairy ruminants (sheep, goats).

Data extraction

After applying the inclusion and exclusion criteria, 10 scientific articles were selected and used to construct the final database (Table 1). From these manuscripts, treatment means, SEM or SD, and n were obtained for milk yield (MY), milk fat content (MFC), milk protein content (MPC), milk lactose content (MLC), milk fat yield (MFY), milk protein yield (MPY), milk lactose yield (MLY), milk urea nitrogen (MUN), somatic cell count (SCC), butyric (C4:0), caproic (C6:0), caprylic (C8:0), capric (C10:0), lauric (C12:0), myristic (C14:0), myristoleic (C14:1), pentadecanoic (C15:0), palmitic (C16:0), palmitoleic (C16:1), heptadecanoic (C17:0), margoleic (C17:1), stearic (C18:0), oleic (C18:1 n-9 cis), linoleic (C18:2 n-6 cis), vaccenic (C18:1 trans-11), conjugated linoleic (C18:2 cis-9, trans-11), α -linolenic (C18:3 n-3), γ -linolenic (C18:3 n-6), arachidic (C20:0), eicosapentaenoic (C20:5 n-3), behenic (C22:0), docosahexaenoic (C22:6 n-3), total saturated fatty acids (SFAs), total monounsaturated fatty acids (MUFAs), total polyunsaturated fatty acids (PUFAs), total omega-3 (ω -3), total omega 6 (ω -6), ω -6/ ω -3 ratio, atherogenic index (AI), and thrombogenic index (TI).

Data reported in bar graphs were extracted using WebPlotDigitizer version 4.5 (Drevon et al., 2017). The current meta-analysis database only included response variables reported in at least two different experimental studies, as suggested by other authors (Korichevá et al., 2013; Orzuna-Orzuna et al., 2024).

Statistical analysis, heterogeneity and publication bias

The effect size (ES) of each response variable was adjusted (weighted) according to the inverse of its variance with random effects models (Der-Simonian & Laird, 1986) using version 4.4.2 of the statistical software R through the specialized package “metafor” (Viechtbauer, 2010). The ES was expressed as a weighted mean difference (WMD) with 95 % confidence intervals. WMD was chosen instead of SMD because the variables were reported in the same units (directly or after conversion), allowing for a more intuitive interpretation of the results (Borenstein et al., 2009).

Heterogeneity between studies was assessed and quantified using the I^2 statistic and Cochran's Q

Criterios de exclusión e inclusión

Los criterios de exclusión aplicados fueron los siguientes: 1) estudios que utilizaron pequeños rumiantes lecheros no lactantes (ovejas, cabras); 2) tesis, libros, revisiones y actas de congresos; 3) estudios que combinaron PDSC con otro aditivo alimenticio o con antibióticos. Por otro lado, se consideraron los siguientes criterios de inclusión: 1) estudios experimentales realizados en pequeños rumiantes lecheros (ovejas, cabras) en periodo de lactancia; 2) artículos científicos publicados en inglés entre enero de 2015 y mayo de 2025 en revistas científicas arbitradas; 3) estudios que incluyeran una dieta control sin PDSC y al menos un tratamiento con suplementación de PDSC; 4) estudios que reportaran medias de tratamiento, número de réplicas (n) y error estándar de la media (EEM) o desviación estándar (DE) de al menos una variable relacionada con la producción de leche, composición o perfil de ácidos grasos de la leche en ovejas y cabras.

Extracción de datos

Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 10 artículos científicos para construir la base de datos final (Cuadro 1). De cada estudio se extrajeron las medias de los tratamientos, el EEM o la DE, y el n correspondientes al rendimiento de leche (RL), contenido de grasa (CGL), contenido de proteína (CPL), contenido de lactosa (CL), rendimiento de grasa (RGL), rendimiento de proteína (RPL), rendimiento de lactosa (RLL), nitrógeno ureico (NUL), recuento de células somáticas (RCS), ácido butírico (C4:0), ácido caproico (C6:0), ácido caprílico (C8:0), ácido cáprico (C10:0), ácido láurico (C12:0), ácido mirístico (C14:0), ácido miristoleico (C14:1), ácido pentadecanoico (C15:0), ácido palmítico (C16:0), ácido palmitoleico (C16:1), ácido heptadecanoico (C17:0), ácido margoleico (C17:1), ácido esteárico (C18:0), ácido oleico (C18:1 n-9 cis), ácido linoleico (C18:2 n-6 cis), ácido vaccénico (C18:1 trans-11), ácido linoleico conjugado (C18:2 cis-9, trans-11), ácido α -linolénico (C18:3 n-3), ácido γ -linolénico (C18:3 n-6), ácido araquídico (C20:0), ácido eicosapentaenoico (C20:5 n-3), ácido behénico (C22:0), ácido docosahexaenoico (C22:6 n-3), ácidos grasos saturados totales (AGS), ácidos grasos monounsaturados totales (AGMI), ácidos grasos poliinsaturados totales (AGPI), omega-3 total (ω -3), omega-6 total (ω -6), relación ω -6/ ω -3, índice aterogénico (IA) e índice trombogénico (IT).

Los datos presentados en gráficas de barras se extrajeron con el programa WebPlotDigitizer versión 4.5 (Drevon et al., 2017). La base de datos del metaanálisis incluyó únicamente las variables reportadas en al menos dos estudios experimentales diferentes, de acuerdo con la sugerencia de otros autores (Korichevá et al., 2013; Orzuna-Orzuna et al., 2024).

Table 1. Description of the studies included in the meta-analysis database.**Cuadro 1. Descripción de los estudios incluidos en la base de datos del metaanálisis.**

Reference / Referencia	Specie / Especie	DIM / DL	SP / PS	HSP / PDSC	Dose (g·kg ⁻¹ DM) / Dosis (g·kg ⁻¹ MS)	FD (g·kg ⁻¹ DM) / FD (g·kg ⁻¹ MS)
Cismileanu et al. (2024)	Goats / Cabras	141	28	WS / SE	115	555
Cozma et al. (2015)	Goats / Cabras	91	15, 29	WS / SE	54	630
Cremonesi et al. (2022)	Goats / Cabras	10	140	WS / SE	94	490
Iannaccone et al. (2019)	Sheep / Ovejas	74	30	WS / SE	50	596
Ianni et al. (2020)	Sheep / Ovejas	74	35	WS / SE	50	NR
Mierlita (2016)	Sheep / Ovejas	70	49	WS / SE	83.3	666
Mierliță (2018)	Sheep / Ovejas	70	56	WS, seed cake / SE, pastel de semillas	94.2, 246.1	600
Mierlita et al. (2023)	Goats / Cabras	86	70	WS / SE	90	700
Rapetti et al. (2021)	Goats / Cabras	49	30	WS / SE	93	856
Šalavardić et al. (2021)	Goats / Cabras	31	45	Seed cake / Pastel de semillas	60, 120	600

DIM: days in milk; SP: supplementation period; HSP: hemp seed products; WS: whole seeds; DM: dry matter; FD: forage in diet; NR: not reported.

DL: días en la leche; PS: período de suplementación; PDSC: productos derivados de semillas de cáñamo; SE: semillas enteras; MS: materia seca; FD: forraje en la dieta; NR: no reportado.

test (Borenstein et al., 2009; Lucio-Ruíz et al., 2024). Significant heterogeneity was considered when $I^2 > 50\%$ and Cochran's $Q p \leq 0.05$ (Korichevá et al., 2013). Publication bias was examined for all response variables using Begg's adjusted rank correlation (Begg & Mazumdar, 1994) and Egger's regression asymmetry (Egger et al., 1997), with differences considered significant when $p \leq 0.05$. The risk of methodological bias in the included studies was assessed using the SYRCLE tool for animal studies (Hooijmans et al., 2014). Articles presenting two or more parameters classified as high risk according to SYRCLE were excluded from the database (Table 2). No meta-regression analysis was performed because, according to Borenstein et al. (2009) and Korichevá et al. (2013), this type of analysis requires a minimum of 10 studies per variable to avoid false results.

Results and discussion

Milk yield and composition

Table 3 shows that dietary inclusion of HSP increased ($p < 0.01$) MY, MFC, MFY, MPY, and MLY in small dairy ruminants. However, no significant effects ($p > 0.05$) were detected on MPC and MUN. Dietary supplementation with HSP decreased ($p > 0.01$) MLC and SCC. No significant heterogeneity among studies was observed (Cochran's Q test with $p > 0.05$ and $I^2 < 50\%$) nor publication bias (Egger and Begg's tests $p > 0.05$) for the analyzed variables (Table 3).

The increase in MY may be related to the rise in DM (+17.1%) (Rapetti et al., 2021), as DM is highly positive correlated ($r = 0.807$) with MY (Brown et al., 1977).

Análisis estadístico, heterogeneidad y sesgo de publicación

El tamaño del efecto (TE) de cada variable se ajustó (ponderó) mediante la inversa de su varianza con modelos de efectos aleatorios (Der-Simonian & Laird, 1986) en el programa estadístico R versión 4.4.2 con el paquete "metafor" (Viechtbauer, 2010). El TE se expresó como la diferencia de medias ponderada (DMP) con intervalos de confianza del 95%. Se eligió la DMP en lugar de la diferencia de medias estandarizada porque las variables se reportaron en las mismas unidades (directamente o por conversión), lo cual permite una interpretación más intuitiva de los resultados (Borenstein et al., 2009).

La heterogeneidad entre los estudios se cuantificó mediante la estadística I^2 y la prueba Q de Cochran (Borenstein et al., 2009; Lucio-Ruíz et al., 2024). Se consideró que existía una heterogeneidad significativa cuando $I^2 > 50\%$ y $p \leq 0.05$ en la prueba de Q (Korichevá et al., 2013). El sesgo de publicación se evaluó mediante la correlación de rangos ajustada de Begg (Begg & Mazumdar, 1994) y la prueba de asimetría de regresión de Egger (Egger et al., 1997), en ambas las diferencias fueron significativas cuando $p \leq 0.05$. El riesgo de sesgo metodológico en los estudios incluidos se evaluó con la herramienta SYRCLE para estudios en animales (Hooijmans et al., 2014). Los artículos que presentaron dos o más parámetros clasificados como de riesgo alto según SYRCLE se excluyeron de la base de datos (Cuadro 2). No se realizó análisis de metarregresión debido a que, según Borenstein et al. (2009) y Korichevá et al. (2013), este tipo de análisis requiere un mínimo de 10 estudios por variable para evitar resultados falsos.

Table 2. Risk of bias assessment according to the SYRCLE's tool for animal studies.**Cuadro 2. Evaluación del riesgo de sesgo según la herramienta SYRCLE para estudios con animales.**

Studies/Estudios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cismileanu et al. (2024)	-	-	-	-	-	-	-	?	-	-
Cozma et al. (2015)	-	-	-	-	-	-	-	?	-	-
Cremonesi et al. (2022)	-	-	-	?	?	-	?	?	?	-
Iannaccone et al. (2019)	-	-	-	?	?	-	?	?	?	-
Ianni et al. (2020)	-	-	-	?	?	-	?	?	?	-
Mierlita (2016)	-	-	-	-	-	-	-	?	-	-
Mierliță (2018)	-	-	-	-	-	-	-	?	-	-
Mierlita et al. (2023)	-	-	-	-	-	-	-	?	-	-
Rapetti et al. (2021)	-	-	-	-	-	-	-	?	-	-
Šalavardić et al. (2021)	-	-	-	-	-	-	-	?	-	-

1: sequence generation; 2: baseline characteristic; 3: allocation concealment; 4: random housing; 5: blinding (performance bias); 6: random outcome assessment; 7: blinding (detection bias); 8: incomplete outcome data; 9: selective outcome reporting; 10: other sources of bias; -: low risk; ?: unclear risk; +: high risk.

1: generación de secuencias; 2: características basales; 3: ocultamiento de la asignación; 4: alojamiento aleatorio; 5: cegamiento (sesgo de ejecución); 6: evaluación aleatoria de los resultados; 7: cegamiento (sesgo de detección); 8: datos incompletos sobre los resultados; 9: notificación selectiva de los resultados; 10: otras fuentes de sesgo; -: riesgo bajo; ?: riesgo incierto; +: riesgo alto.

Table 3. Statistical analysis of milk production and composition variables in small dairy ruminants supplemented with hemp (*Cannabis sativa* L.) seed products.**Cuadro 3. Análisis estadístico de las variables de producción y composición de la leche de pequeños rumiantes lecheros suplementados con productos de semillas de cáñamo (*Cannabis sativa* L.).**

Variable	N (NC)	Control means (SD)/ Media control (DE)	WMD (95 % CI)/ DMP (95 % IC)	p-value/ Valor de p	Heterogeneity/ Heterogeneidad		Egger's test/ Prueba de Egger	Begg test/ Prueba de Begg
					p-value/ Valor de p	I ² (%)	p-value/ Valor de p	p-value/ Valor de p
MY (kg·d ⁻¹)/ RL (kg·d ⁻¹)	8 (12)	1.330 (0.434)	0.068 (0.019; 0.118)	0.007	0.290	15.72	0.319	0.112
MFC (g·100 g ⁻¹)/ CGL (g·100 g ⁻¹)	9 (12)	3.94 (1.20)	0.695 (0.576; 0.814)	<0.001	0.158	30.24	0.870	0.854
MPC (g·100 g ⁻¹)/ CPL (g·100 g ⁻¹)	10 (13)	4.50 (2.03)	-0.043 (-0.088; 0.003)	0.064	0.143	30.14	0.844	0.712
MLC (g·100 g ⁻¹)/ CL (g·100 g ⁻¹)	9 (12)	4.71 (3.51)	0.039 (-0.130; 0.208)	0.651	0.170	30.99	0.582	0.875
MFY (g·d ⁻¹)/ RGL (g·d ⁻¹)	6 (9)	50.67 (13.55)	13.200 (9.745; 16.654)	<0.001	0.072	38.38	0.113	0.458
MPY (g·d ⁻¹)/ RPL (g·d ⁻¹)	6 (9)	47.67 (13.65)	2.357 (0.590; 4.124)	0.009	0.129	43.32	0.275	0.596
MLY (g·d ⁻¹)/ RLL (g·d ⁻¹)	3 (5)	46.64 (13.88)	3.408 (2.182; 4.633)	<0.001	0.178	36.52	0.366	0.999
MUN (mg·dL ⁻¹)/ NUL (mg·dL ⁻¹)	5 (5)	36.32 (11.85)	2.203 (-1.159; 5.564)	0.199	0.061	45.63	0.555	0.702
SCC (×10 ³ cell·mL ⁻¹)/ RCS (×10 ³ células·mL ⁻¹)	5 (6)	5.30 (0.29)	-0.682 (-1.048; -0.316)	<0.001	0.784	0.00	0.817	0.800

N: number of studies; NC: number of comparisons between hemp seed product treatment and control treatment; SD: standard deviation; WMD: weighted mean differences between control and hemp seed product treatments; CI: confidence interval of WMD; p-value to χ^2 (Q) test of heterogeneity; I²: proportion of total variation of size effect estimates that is due to heterogeneity; MY: milk yield; MFC: milk fat content; MPC: milk protein content; MLC: milk lactose content; MFY: milk fat yield; MPY: milk protein yield; MLY: milk lactose yield; MUN: milk urea nitrogen; SCC: somatic cell count.

N: número de estudios; NC: número de comparaciones entre el tratamiento con productos de semillas de cáñamo y el tratamiento testigo; DE: desviación estándar; DMP: diferencia de medias ponderada entre testigo y tratamiento con productos de semillas de cáñamo; IC: intervalo de confianza de DMP; valor de p de la prueba χ^2 (Q) de heterogeneidad; I²: proporción de la variación total de las estimaciones del efecto de tamaño que se debe a la heterogeneidad; RL: rendimiento de la leche; CGL: contenido de grasa; CPL: contenido de proteína; CL: contenido de lactosa; RGL: rendimiento de grasa; RPL: rendimiento de proteína láctea; RLL: rendimiento de lactosa; NUL: nitrógeno ureico lácteo; RCS: recuento de células somáticas.

In addition, HSP stimulates the expression of genes associated with oxidative phosphorylation (Iannaccone et al., 2019), which enhances the availability of metabolic energy (ATP) in the mammary gland (Sieck et al., 2020), a key factor in increasing milk production (Favorit et al., 2021). Furthermore, HSPs contain flavonoids (on average 109 mg·g⁻¹) (Muedi et al., 2024), which can increase prolactin and growth hormone levels in dairy ruminants (by 32.4 to 69.1 %) (Li et al., 2020) hormones that are positively correlated with milk production (James et al., 2017; Lacasse et al., 2016).

Supplementation with HSP also increased MFC and MFY, consistent with the results reported by Gu et al. (2025) in dairy buffaloes supplemented with HSP (100 g·kg⁻¹ DM). These results may benefit the dairy industry because high MFC values are positively correlated ($r = 0.350$ to 0.388) with cheese firmness and yield (de Oca-Flores et al., 2019). This increase may be related to greater ruminal production of acetic acid (Addo et al., 2023b; Gu et al., 2025), the main precursor for the novo fatty acid synthesis in the mammary gland (Mu et al., 2021). Likewise, HSP intake increases (+75.7 %) the expression of the diacylglycerol O-acyltransferase 1 (DGAT1) gene (Cremonesi et al., 2022), which plays a key role in the synthesis of milk fat and has a high genetic correlation ($r = 0.570$ to 0.626) with MFC and MFY (Jiang et al., 2019). Wongpom et al. (2017) reported a positive correlation ($r = 0.711$) between MFC and MFY. Consequently, the higher MFY values observed in the current meta-analysis could be closely related to the increase in MFC in dairy ruminants supplemented with HSP in their diets.

In contrast MPC and MLC were not significantly altered, consistent with the findings of Šalavardić et al. (2021), who reported that HSPs do not affect the ability to convert dietary protein into milk protein. Likewise, several studies show that HSPs do not modify ruminal propionic acid production (Rapetti et al., 2021; Addo et al., 2023b; Gu et al., 2025), a key metabolite in lactose synthesis (Lemosquet et al., 2009). Therefore, the increases in MPY and MLY observed in this meta-analysis result primarily from the increase in MY rather than from changes in milk composition.

MUN also showed no significant variation, suggesting that HSP supplementation does not affect the efficiency of utilization of rumen-degradable protein (Hossein-Zadeh, 2024). In contrast, the lower SCC observed in animals supplemented with HSP suggests a potential protective effect against mastitis, as a strong correlation ($r = 0.70$ to 0.81) has been reported between somatic cell count and the incidence of clinical and subclinical mastitis in dairy ruminants (Rupp et al., 2000).

HSPs contain cannabidiol (Altman et al., 2024), which can be absorbed in the small intestine of dairy ruminants and subsequently transferred to

Resultados y discusión

Rendimiento y composición de la leche

En el Cuadro 3 se observa que la inclusión de PDSC en la dieta aumentó significativamente ($p < 0.01$) el RL, CGL, RGL, RPL y RLL en pequeños rumiantes lecheros. Sin embargo, no se detectaron efectos significativos ($p > 0.05$) sobre el CPL y NUL. La suplementación con PDSC en la dieta disminuyó ($p < 0.01$) los niveles de CL y RCS. No se evidenció heterogeneidad significativa entre estudios (prueba Q de Cochran con $p > 0.05$; $I^2 < 50$ %) ni sesgo de publicación (pruebas de Egger y Begg, $p > 0.05$) en las variables analizadas (Cuadro 3).

El aumento en el RL puede estar relacionado con el incremento en el consumo de materia seca (MS; +17.1 %) (Rapetti et al., 2021), ya que la MS presenta una correlación positiva alta ($r = 0.807$) con el RL (Brown et al., 1977). Además, los PDSC estimulan la expresión de genes asociados con la fosforilación oxidativa (Iannaccone et al., 2019), lo cual mejora la disponibilidad de energía metabólica (ATP) en la glándula mamaria (Sieck et al., 2020), factor determinante para incrementar la producción de leche (Favorit et al., 2021). Asimismo, los PDSC contienen flavonoides (en promedio 109 mg·g⁻¹) (Muedi et al., 2024), los cuales pueden aumentar los niveles de la prolactina y la hormona del crecimiento en rumiantes lecheros (desde 32.4 hasta 69.1 %) (Li et al., 2020), hormonas que muestran una correlación positiva con la producción de leche (James et al., 2017; Lacasse et al., 2016).

La suplementación con PDSC también incrementó los valores de CGL y RGL, resultados consistentes con los obtenidos por Gu et al. (2025) en búfalas suplementadas con PDSC (100 g·kg⁻¹ MS). Estos efectos son relevantes para la industria láctea, ya que el CGL se asocia positivamente ($r = 0.350$ a 0.388) con la firmeza y el rendimiento del queso (de Oca-Flores et al., 2019). Dicho incremento podría estar relacionado con una mayor producción ruminal de ácido acético (Addo et al., 2023b; Gu et al., 2025), principal precursor de la síntesis *de novo* de ácidos grasos en la glándula mamaria (Mu et al., 2021). Asimismo, la ingesta de PDSC aumenta (+75.7 %) la expresión del gen diacylglicerol O-acyltransferasa 1 (DGAT1) (Cremonesi et al., 2022), que desempeña un papel clave en la síntesis de la grasa láctea y tiene una correlación genética importante ($r = 0.570$ a 0.626) con el CGL y RGL (Jiang et al., 2019). Wongpom et al. (2017) reportaron una correlación positiva ($r = 0.711$) entre el CGL y el RGL. En consecuencia, los valores más altos observados en el RGL pueden estar relacionados con el aumento del CGL en los rumiantes suplementados con PDSC.

Por su parte, los valores de CPL y CL no se modificaron significativamente, lo cual coincide con lo reportado por Šalavardić et al. (2021), quienes señalan que

the bloodstream and enter the mammary gland (Schwerdtfeger et al., 2025). Cannabidiol has a strong antimicrobial effect on *Staphylococcus aureus* and *Streptococcus agalactiae* (Blaskovich et al., 2021), two bacteria commonly associated with high SCC values in the milk of dairy ruminants (Contreras & Rodríguez, 2011). Therefore, the presence of cannabidiol in the mammary gland of dairy ruminants supplemented with HSP could explain the lower SCC.

Fatty acid profile in milk

The inclusion of HSP in small dairy ruminant diets did not affect ($p > 0.05$) the milk concentrations of C4:0, C6:0, C8:0, C10:0, C14:1, C16:1, C17:1, C18:0, C18:1 n-9 cis, C18:3 n-6, C22:0, and total ω -6 fatty acids (Cuadro 4). However, the inclusion of HSP in small dairy ruminant diets decreased ($p < 0.05$) the milk concentrations of C12:0, C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, total SFA, ω -6/ ω -3 ratio, AI, and TI. In contrast, the inclusion of HSP in small dairy ruminant diets increased ($p < 0.05$) the milk concentration of fatty acids C18:2 n-6 cis, C18:1 trans-11, C18:2 cis-9, trans-11, C18:3 n-3, C20:0, C20:5 n-3, C22:6 n-3, total MUFA, total PUFA, and total ω -3.

On the other hand, no significant heterogeneity was observed (Cochran's Q test with $p > 0.05$ and $I^2 < 50\%$) in C4:0, C6:0, C8:0, C12:0, C14:0, C17:0, C18:2 cis-9, trans-11, C20:0, C20:5 n-3, C22:6 n-3, total MUFA, and total ω -6 (Table 4). In contrast, significant heterogeneity was detected ($p > 0.05$; $I^2 > 50\%$) in C10:0, C14:1, C15:0, C16:0, C16:1, C17:1, C18:0, C18:1 n-9 cis, C18: cis-2, C18:1, n-16: trans C18:3 n-3, C18:3 n-6, C22:0, total SFA, total PUFA, ω -3 to-tales, ω -6/ ω -3 ratio, AI and TI. Furthermore, the results obtained in the Egger and Begg tests indicate that no publication bias ($p > 0.05$) was detected in any of the response variables evaluated (Table 4).

According to Lopez et al. (2022), the fatty acid composition of milk fat can be rapidly modified through dietary changes, and a better fatty acid profile in milk can provide higher quality and added value to milk and its derived products. In the present meta-analysis, the dietary inclusion of HSPs decreased the concentration of C12:0, C14:0, and C16:0 in the milk of small dairy ruminants, which is beneficial because these three fatty acids are associated with increased serum cholesterol levels in humans (Ungerfeld et al., 2019). In mammals and birds, HSP ingestion decreases the expression of the acetyl-CoA carboxylase (ACACA) gene (He et al., 2025). Lower ACACA gene expression decreases de novo synthesis of C12:0, C14:0, and C16:0 in the mammary gland of ruminants (Ungerfeld et al., 2019), which would explain the lower concentrations of C12:0, C14:0, and C16:0 observed in the current study.

los PDSC no alteran la capacidad de transformar las proteínas de la dieta en proteína láctea. De igual manera, diversos estudios evidencian que los PDSC no modifican la producción de ácido propiónico ruminal (Rapetti et al., 2021; Addo et al., 2023b; Gu et al., 2025), metabolito clave en la síntesis de lactosa (Lemosquet et al., 2009). Por tanto, los aumentos en el RPL y el RLL observados en este metaanálisis derivan principalmente del incremento en el RL y no de cambios en la composición de la leche.

El NUL tampoco varió significativamente, lo que sugiere que la suplementación con PDSC no afecta la eficiencia de utilización de la proteína degradable en el rumen (Hosseini-Zadeh, 2024). En contraste, el menor RCS observado en los animales suplementados con PDSC sugiere un posible efecto protector frente a la mastitis, ya que se ha reportado que existe una estrecha correlación ($r = 0.70$ a 0.81) entre los valores de RCS y la aparición de mastitis clínica y subclínica en rumiantes lecheros (Rupp et al., 2000).

Los PDSC contienen cannabidiol (Altman et al., 2024), un compuesto que se absorbe en el intestino delgado, entra en la sangre y llega a la glándula mamaria (Schwerdtfeger et al., 2025). Este compuesto tiene propiedades antimicrobianas contra *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus agalactiae* (Blaskovich et al., 2021), bacterias asociadas a incrementos en el RCS en leche (Contreras & Rodríguez, 2011). Por lo tanto, la presencia de cannabidiol en la glándula mamaria de rumiantes suplementados con PDSC podría explicar la reducción del RCS.

Perfil de ácidos grasos

La incorporación de PDSC en la dieta de los rumiantes no tuvo un efecto significativo ($p > 0.05$) sobre las concentraciones de C4:0, C6:0, C8:0, C10:0, C14:1, C16:1, C17:1, C18:0, C18:1 n-9 cis, C18:3 n-6, C22:0 y el total de ácidos grasos ω -6 (Cuadro 4). Sin embargo, la presencia de PDSC disminuyó significativamente ($p < 0.05$) las concentraciones de C12:0, C14:0, C15:0, C16:0, C17:0 y AGS, así como la relación ω -6/ ω -3, el IA y el IT. Por el contrario, se observó un incremento significativo ($p < 0.05$) en la concentración de C18:2 n-6 cis, C18:1 trans-11, C18:2 cis-9, trans-11, C18:3 n-3, C20:0, C20:5 n-3, C22:6 n-3, AGMI, AGPI y ω -3.

No se detectó heterogeneidad significativa (prueba Q de Cochran con $p > 0.05$ e $I^2 < 50\%$) en C4:0, C6:0, C8:0, C12:0, C14:0, C17:0, C18:2 cis-9, trans-11, C20:0, C20:5 n-3, C22:6 n-3, AGMI y ω -6 (Cuadro 4). En contraste, se observó heterogeneidad significativa ($p > 0.05$; $I^2 < 50\%$) en C10:0, C14:1, C15:0, C16:0, C16:1, C17:1, C18:0, C18:1 n-9 cis, C18: cis-2, C18:1, n-16: trans C18:3 n-3, C18:3 n-6, C22:0, AGS, AGPI, ω -3, relación ω -6/ ω -3, IA y IT. Los resultados de las pruebas de Egger

Table 4. Statistical analysis of the milk fatty acid profile in small ruminants supplemented with hemp (*Cannabis sativa* L.) seed products.**Cuadro 4. Análisis estadístico del perfil de ácidos grasos en leche de pequeños rumiantes suplementados con productos derivados de semillas de cáñamo (*Cannabis sativa* L.).**

Variable	N (NC)	Control means (SD)/ Media control (DE)	WMD (95 % CI)/ DMP (95 % IC)	p-value/ Valor de p	Heterogeneity/ Heterogeneidad		Egger's test/ Prueba de Egge	Begg test/ Prueba de Begg
					p-value/ Valor de p	I ² (%)		
Butyric acid(C4:0)/ Ácido butírico (C4:0)	6 (9)	2.096 (0.232)	0.095 (-0.030; 0.220)	0.137	0.061	45.19	0.571	0.493
Caproic acid (C6:0)/ Ácido caproico (C6:0)	6 (9)	2.370 (0.254)	0.042 (-0.016; 0.101)	0.156	0.563	0.00	0.384	0.750
Caprylic acid (C8:0)/ Ácido caprílico (C8:0)	6 (9)	2.598 (0.196)	0.051 (-0.025; 0.126)	0.187	0.432	0.00	0.186	0.254
Capric acid (C10:0)/ Ácido cáprico (C10:0)	8 (12)	8.873 (2.120)	-0.995 (-2.058; 0.069)	0.067	<0.001	93.82	0.781	0.678
Lauric acid (C12:0)/ Ácido láurico (C12:0)	8 (12)	4.505 (0.995)	-1.067 (-1.658; -0.475)	0.001	0.085	45.22	0.276	0.579
Myristic acid (C14:0)/ Ácido mirístico (C14:0)	8 (12)	10.168 (1.528)	-1.500 (-2.450; -0.550)	0.002	0.133	38.75	0.362	0.268
Myristoleic acid (C14:1)/ Ácido miristoleico (C14:1)	7 (10)	0.197 (0.032)	0.002 (-0.159; 0.163)	0.980	<0.001	98.72	0.124	0.854
Pentadecanoic acid (C15:0)/ Ácido pentadecanoico (C15:0)	7 (10)	0.854 (0.198)	-0.099 (-0.186; -0.013)	0.025	<0.001	94.13	0.471	0.856
Palmitic acid (C16:0)/ Ácido palmítico (C16:0)	8 (12)	24.723 (2.364)	-3.432 (-5.322; -1.541)	<0.001	<0.001	93.01	0.243	0.562
Palmitoleic acid (C16:1)/ Ácido palmitoleico (C16:1)	7 (10)	0.808 (0.259)	0.035 (-0.268; 0.337)	0.823	<0.001	96.86	0.336	0.596
Heptadecanoic acid (C17:0)/ Ácido heptadecanoico (C17:0)	7 (10)	0.693 (0.149)	-0.089 (-0.142; -0.037)	<0.001	0.078	39.72	0.112	0.365
Margoleic acid (C17:1)/ Ácido margaroleico (C17:1)	7 (10)	0.328 (0.064)	-0.040 (-0.084; 0.005)	0.083	<0.001	89.55	0.134	0.218
Stearic acid (C18:0)/ Ácido esteárico (C18:0)	8 (12)	12.526 (3.293)	0.249 (-1.122; 1.620)	0.722	<0.001	95.13	0.555	0.678
Oleic acid (C18:1 n-9 cis)/ Ácido oleico (C18:1 n-9 cis)	8 (12)	20.407 (4.386)	1.392 (-0.249; 3.033)	0.096	<0.001	91.71	0.660	0.679
Linoleic acid (C18:2 n-6 cis)/ Ácido linoleico (C18:2 n-6 cis)	8 (11)	2.672 (0.443)	0.237 (0.026; 0.449)	0.028	<0.001	84.62	0.614	0.782
Vaccenic acid (C18:1 trans-11)/ Ácido vaccénico (C18:1 trans-11)	5 (7)	1.727 (0.628)	1.292 (0.797; 1.787)	<0.001	<0.001	96.72	0.151	0.457

Table 4. Statistical analysis of the milk fatty acid profile in small ruminants supplemented with hemp (*Cannabis sativa* L.) seed products. (cont.)**Cuadro 4. Análisis estadístico del perfil de ácidos grasos en leche de pequeños rumiantes suplementados con productos derivados de semillas de cáñamo (*Cannabis sativa* L.). (cont.)**

Variable	N (NC)	Control means (SD)/ Media control (DE)	WMD (95 % CI)/ DMP (95 % IC)	p-value/ Valor de p	Heterogeneity/ Heterogeneidad		Egger's test/ Prueba de Egge	Begg test/ Prueba de Begg
					p-value/ Valor de p	I ² (%)		
Conjugated linoleic acid (C18:2 cis-9, trans-11)/ Ácido linoleico conjugado (C18:2 cis-9, trans-11)	7 (10)	0.794 (0.305)	0.708 (0.248; 1.168)	0.003	0.068	29.96	0.284	0.205
α-linolenic acid (C18:3 n-3)/ Ácido α-linolénico (C18:3 n-3)	8 (12)	0.968 (0.313)	0.380 (0.243; 0.518)	<0.001	<0.001	93.94	0.304	0.331
γ-linolenic acid (C18:3 n-6)/ Ácido γ-linolénico (C18:3 n-6)	6 (9)	0.110 (0.019)	-0.035 (-0.060; -0.010)	0.067	<0.001	99.13	0.872	0.915
Arachidic acid (C20:0)/ Ácido araquídico (C20:0)	8 (12)	0.251 (0.069)	0.075 (0.037; 0.114)	<0.001	0.089	37.42	0.349	0.481
Eicosapentaenoic acid (C20:5 n-3)/ Ácido eicosapentaenoico (C20:5 n-3)	6 (9)	0.125 (0.042)	0.039 (0.026; 0.051)	<0.001	0.102	41.66	0.420	0.567
Behenic acid (C22:0)/ Ácido behénico (C22:0)	5 (8)	0.067 (0.030)	0.004 (-0.002; 0.010)	0.155	<0.001	83.14	0.466	0.610
Docosahexaenoic acid (C22:6 n-3)/ Ácido docosahexaenoico (C22:6 n-3)	5 (7)	0.133 (0.044)	0.007 (0.001; 0.013)	0.016	0.066	49.32	0.330	0.355
Total SFA/ AGS totales	8 (12)	68.444 (3.800)	-4.904 (-8.031; -1.777)	0.002	<0.001	94.24	0.172	0.591
Total MUFA/ AGMI totales	8 (12)	24.479 (3.272)	4.124 (2.755; 5.493)	<0.001	0.082	40.29	0.358	0.889
Total PUFA/ AGPI totales	8 (12)	5.321 (1.421)	1.733 (0.894; 2.571)	<0.001	<0.001	99.04	0.061	0.579
Total ω-3/ ω-3 total	7 (11)	1.230 (0.601)	0.540 (0.287; 0.794)	<0.001	<0.001	97.95	0.096	0.305
Total ω-6/ ω-6 total	7 (11)	3.163 (0.652)	0.142 (-0.047; 0.331)	0.142	0.064	42.43	0.310	0.478
ω-6/ω-3 ratio/ Relación ω-6/ω-3	5 (7)	2.835 (1.304)	-0.546 (-0.880; -0.212)	0.001	<0.001	98.09	0.585	0.282
Atherogenic index (AI)/ Índice aterogénico (IA)	5 (8)	1.931 (0.831)	-0.578 (-0.855; -0.301)	<0.001	<0.001	99.63	0.561	0.704
Thrombogenic index (TI)/ Índice trombogénico (IT)	5 (8)	1.860 (0.347)	-0.442 (-0.614; -0.270)	<0.001	<0.001	97.80	0.167	0.163

N: number of studies; NC: number of comparisons between hemp seed product treatment and control treatment; SD: standard deviation; WMD: weighted mean differences between control and hemp seed product treatments; CI: confidence interval of WMD; p-Value to χ^2 (Q) test of heterogeneity; I²: proportion of total variation of size effect estimates that is due to heterogeneity; SFA: saturated fatty acids; MUFA: monounsaturated fatty acids; PUFA: polyunsaturated fatty acids.

N: número de estudios; NC: número de comparaciones entre el tratamiento con productos de semillas de cáñamo y el tratamiento de control; DE: desviación estándar; DMP: diferencia de medias ponderada entre testigo y tratamiento con productos de semillas de cáñamo; IC: intervalo de confianza de DMP; valor p de la prueba χ^2 (Q) de heterogeneidad; I²: proporción de la variación total de estimaciones del efecto del tamaño que se debe a la heterogeneidad; RL: rendimiento de la leche; CGL: contenido de grasa; CPL: contenido de proteína; CL: contenido de lactosa; RGL: rendimiento de grasa; RPL: rendimiento de proteína láctea; RLL: producción de lactosa; NUL: nitrógeno ureico lácteo; RCS: recuento de células somáticas; AGS: ácidos grasos saturados; AGMI: ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: ácidos grasos poliinsaturados.

Semwogerere et al. (2024) reported that increasing dietary HSP (25 to 100 g·kg⁻¹ DM) reduced duodenal microbial protein flow in small ruminants by 7.8 to 22.9 %. This effect may be related to the lower concentrations of C15:0 and C17:0 observed in the milk evaluated in this meta-analysis, since these fatty acids originate primarily from ruminal bacteria rich in C15:0 and C17:0, which form part of the microbial protein absorbed in the duodenum (Vlaeminck et al., 2005).

In the current study, dietary inclusion of HSP increased the milk concentration of C18:2 n-6 cis, C18:3 n-3, C18:1 trans-11, and C18:2 cis-9, trans-11. Cremonesi et al. (2018) reported that the use of HSPs increases the concentration of C18:2 n-6 cis and C18:3 n-3 in the rumen content of dairy goats by 10.5 to 63.8 %. This effect may explain the higher concentrations of these fatty acids in the milk of ruminants supplemented with HSP as both originate directly from the diet and are not synthesized in the mammary gland (Gómez-Cortés & de la Fuente, 2020).

Tabiś et al. (2024) reported that HSPs increase the abundance of *Butyrivibrio fibrisolvens* in rumen fluid. This bacterium can hydrogenate C18:2 n-6 cis to C18:1 trans-11 in the rumen (Fukuda et al., 2006), which explains the high concentration of C18:1 trans-11 observed in the present meta-analysis. HSP contain 33.9 to 55.6 % C18:2 n-6 cis (Kalaitsidis et al., 2023), which can be converted into C18:1 trans-11 in the rumen due to the elevated abundance of *B. fibrisolvens* (Mierlita et al., 2023). In addition, HSPs stimulate the activity of $\Delta 9$ -desaturasa (Mierlita et al., 2023), the enzyme responsible for converting C18:1 trans-11 into C18:2 cis-9, trans-11 in the mammary gland of ruminants (Fukuda et al., 2006).

The use of HSP also increased the concentration of C20:0, C20:5 n-3, and C22:6 n-3 in the milk of small dairy ruminants. HSPs have been shown to raise C20:0 levels in the rumen contents by 35.1 % (Cremonesi et al., 2018), which may enhance its intestinal absorption and subsequent transfer to the mammary gland and milk. Likewise, the increase in C18:3 n-3 observed in this meta-analysis (+39.2 %) suggests greater availability of this fatty acid in mammary tissue, where it can be converted into C20:5 n-3 and C22:6 n-3 through elongation and desaturation reactions (Zymon et al., 2014). Intake of ruminant milk with a high concentration of C20:5 n-3 and C22:6 n-3 has been linked to enhanced cognitive function and a low risk of CVD in humans (Orzuna-Orzuna et al., 2023).

The inclusion of HSP decreased total SFA content and the ω -6/ ω -3, while increasing total MUFA, PUFA, and ω -3 levels. Similar changes have been reported

y Begg confirmaron la ausencia de sesgo de publicación ($p > 0.05$) en todas las variables evaluadas (Cuadro 4).

De acuerdo con Lopez et al. (2022), la composición de ácidos grasos en la leche se puede modificar mediante cambios en la dieta, lo cual permite mejorar su calidad nutricional y su valor agregado en productos derivados. En el presente metaanálisis, la adición de PDSC en la dieta redujo significativamente las concentraciones de C12:0, C14:0 y C16:0 en la leche, lo cual es favorable desde el punto de vista de la salud humana, ya que estos ácidos grasos están asociados con un incremento del colesterol sérico (Ungerfeld et al., 2019). En mamíferos y aves, la ingesta de PDSC disminuye la expresión del gen acetil-CoA carboxilasa (ACACA) (He et al., 2025). La menor expresión del ACACA reduce la síntesis *de novo* de C12:0, C14:0 y C16:0 en la glándula mamaria de los rumiantes (Ungerfeld et al., 2019), lo que explica las bajas concentraciones de estos ácidos grasos en el presente estudio.

Semwogerere et al. (2024) mencionan que el aumento de PDSC en la dieta (25 a 100 g·kg⁻¹ MS) redujo entre 7.8 y 22.9 % el flujo de proteína microbiana duodenal en rumiantes pequeños. Este efecto se podría relacionar con una menor concentración de C15:0 y C17:0 en la leche evaluada en este metaanálisis, ya que dichos ácidos grasos provienen principalmente de bacterias ruminales ricas en C15:0 y C17:0, las cuales forman parte de la proteína microbiana absorbida en el duodeno (Vlaeminck et al., 2005).

En este estudio, la suplementación con PDSC aumentó la concentración de C18:2 n-6 cis, C18:3 n-3, C18:1 trans-11 y C18:2 cis-9, trans-11. Cremonesi et al. (2018) afirman que el uso de PDSC aumenta de 10.5 a 63.8 % la concentración de C18:2 n-6 cis y C18:3 n-3 en el contenido ruminal de cabras lecheras. Este efecto puede explicar la mayor concentración de dichos ácidos grasos en la leche de rumiantes alimentados con PDSC, ya que ambos provienen directamente de la dieta y no se sintetizan en la glándula mamaria (Gómez-Cortés & de la Fuente, 2020).

Tabiś et al. (2024) señalan que los PDSC incrementan la abundancia de *Butyrivibrio fibrisolvens* en el líquido ruminal. Esta bacteria puede hidrogenar C18:2 n-6 cis a C18:1 trans-11 en el rumen (Fukuda et al., 2006), lo cual explica la alta concentración de C18:1 trans-11 observada en el presente metaanálisis. Los PDSC tienen un contenido de 33.9 a 55.6 % de C18:2 n-6 cis (Kalaitsidis et al., 2023), que puede transformarse en C18:1 trans-11 en el rumen debido a la alta concentración de *B. fibrisolvens* (Mierlita et al., 2023). Además, los PDSC estimulan la actividad de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa (Mierlita et al., 2023), responsable de convertir C18:1 trans-11 en C18:2 cis-9, trans-11 en la glándula mamaria de rumiantes (Fukuda et al., 2006).

in the milk of buffaloes supplemented with HSP (Gu et al., 2025). According to Mukhametov et al. (2022), consumption of dairy products with high SFA content and with an elevated ω -6/ ω -3 ratio is associated with increased risk of obesity, blood clot formation, atherosclerosis, and CVD. In contrast, diets rich in MUFA, PUFA, and ω -3 reduce the incidence of these conditions (Lunn et al., 2006; Orzuna-Orzuna et al., 2024).

Finally, the reduction in AI and TI observed in the milk of ruminants supplemented with HSP further highlights the nutraceutical potential of these products. This decrease is mainly due to the lower concentration of C12:0, C14:0, and C16:0 in the milk, fatty acids considered both atherogenic and thrombogenic (Ulbricht & Southgate, 1991). In this way, HSPs contribute to producing milk with a healthier lipid profile for human consumption (Tilami & Kouřimská, 2006).

Conclusions

The inclusion of hemp seed products in diets for small dairy ruminants improves milk yield and composition. Likewise, the dietary inclusion of hemp seed products improves the milk fatty acid profile of small dairy ruminants. However, these conclusions should be used with caution, considering that most milk fatty acids exhibited high heterogeneity. At the same time, the entire database contained only a few studies (≤ 9), which limited the dose-response evaluation through subgroup analysis.

End of English version

References / Referencias

- Addo, F., Gervais, R., Ominski, K., Yang, C., & Plaizier, J. C. (2023a). Comparing dehulled hemp meal and canola meal as a protein supplement for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 106(12), 8670-8683. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23507>
- Addo, F., Ominski, K., Yang, C., & Plaizier, J. C. (2023b). Quality and safety of hemp meal as a protein supplement for nonlactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 106(11), 7602-7612. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23222>
- Adesogan, A. T., & Dahl, G. E. (2020). MILK Symposium introduction: Dairy production in developing countries. *Journal of Dairy Science*, 103(11), 9677-9680. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18313>
- Altman, A.W., Kent-Dennis, C., Klotz, J. L., McLeod, K. R., Vanzant, E. S., & Harmon, D. L. (2024). Review: Utilizing industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) by-products in livestock rations. *Animal Feed Science and Technology*, 307(1), 115850. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115850>
- Astrup, A., Magkos, F., Bier, D. M., Brenna, J. T., de Oliveira-Otto, M. C., Hill, J. O., King, J. C., Mente, A., Ordovas, J. M., & Volek, J.S. (2020). Saturated fats and health: A reassessment and proposal for food-based recommendations: JACC State-of-the-

El uso de PDSC también aumentó las concentraciones de C20:0, C20:5 n-3 y C22:6 n-3 en la leche. Se ha observado que los PDSC aumentan en 35.1 % la concentración de C20:0 en el contenido ruminal (Cremonesi et al., 2018), lo que podría incrementar su absorción intestinal y, posteriormente, su transferencia a la glándula mamaria y a la leche. Asimismo, el aumento de C18:3 n-3 observado en este metaanálisis (+39.2 %) sugiere una mayor disponibilidad metabólica de este ácido graso en el tejido mamario, donde se puede transformar en C20:5 n-3 y C22:6 n-3 mediante reacciones de elongación y desaturación (Zymon et al., 2014). El consumo de leche con concentraciones elevadas de C20:5 n-3 y C22:6 n-3 se ha asociado con una mejora de la función cognitiva y una menor incidencia de ECV en humanos (Orzuna-Orzuna et al., 2023).

La suplementación con PDSC disminuyó la concentración total de AGS y la relación ω -6/ ω -3; asimismo, aumentó la concentración total de AGMI, AGPI y ω -3. Cambios similares fueron reportados en leche de búfalas suplementadas con PDSC (Gu et al., 2025). De acuerdo con Mukhametov et al. (2022), el consumo de productos lácteos con alto contenido de AGS y una elevada relación ω -6/ ω -3 se asocia con un incremento en la incidencia de obesidad, formación de coágulos sanguíneos, aterosclerosis y ECV. Por el contrario, las dietas ricas en AGMI, AGPI y ω -3 reducen la incidencia de estas enfermedades (Lunn et al., 2006; Orzuna-Orzuna et al., 2024).

Finalmente, la reducción del IA y el IT observada en la leche de rumiantes suplementados con PDSC refuerza el potencial nutraceutico de estos productos. Dicha disminución se debe principalmente a la menor concentración de C12:0, C14:0 y C16:0 en la leche, ácidos grasos considerados como aterogénicos y trombogénicos (Ulbricht & Southgate, 1991). De esta manera, los PDSC contribuyen a obtener leche con un perfil lipídico más saludable para el consumo humano (Tilami & Kouřimská, 2006).

Conclusiones

La suplementación con productos derivados de semilla de cáñamo en las dietas de pequeños rumiantes lecheros mejora significativamente el rendimiento y la composición de la leche. En particular, la inclusión de estos productos mejora el perfil de ácidos grasos en la leche de estos animales. Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con cautela, ya que la mayoría de las variables relacionadas con los ácidos grasos mostraron alta heterogeneidad y la base de datos incluyó un número limitado de estudios (≤ 9), lo que dificultó el desarrollo del modelo dosis-respuesta mediante análisis por subgrupos.

Fin de la versión en español

- Art Review. *Journal of American College of Cardiology*, 76(12), 844-857. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.05.077>
- Bailoni, L., Bacchin, E., Trocino, A., & Arango, S. (2021). Hemp (*Cannabis sativa* L.) seed and co-products inclusion in diets for dairy ruminants: A review. *Animals*, 11, 856. <https://doi.org/10.3390/ani11030856>
- Begg, C. B., & Mazumdar, M. (1994). Operating characteristics of a rank correlation test for publication bias. *Biometrics*, 50(4), 1088-1101. <https://doi.org/10.2307/2533446>
- Blaskovich, M. A. T., Kavanagh, A. M., Elliott, A. G., Zhang, B., Ramu, S., Amado, M., Lowe, G. J., Hinton, A. O., Pham, D. M. T., ... Thurn, M. (2021). The antimicrobial potential of cannabidiol. *Communications Biology*, 4(1), 7. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01530-y>
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*. John Wiley and Sons, Ltd.
- Briggs, M. A., Petersen, K. S., & Kris-Etherton, P. M. (2017). Saturated fatty acids and cardiovascular disease: replacements for saturated fat to reduce cardiovascular risk. *Healthcare*, 5(2), 29. <https://doi.org/10.3390/healthcare5020029>
- Brown, C. A., Chandler, P. T., & Holter, J. B. (1977). Development of predictive equations for milk yield and dry matter intake in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 60(11), 1739-1754. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(77\)84098-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)84098-8)
- Cismileanu, A. E., Toma, S. M., Ropota, M., Dragomir, C. P., Cornescu, G. M., & Dragomir, C. (2024). Obtaining goats' dairy products enriched in healthy fatty acids by valuing linseed or hempseed as dietary ingredients. *Agriculture*, 14(9), 1498. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091498>
- Contreras, G. A., & Rodríguez, J. M. (2011). Mastitis: Comparative etiology and epidemiology. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 16(4), 339-356. <https://doi.org/10.1007/s10911-011-9234-0>
- Cozma, A., Andrei, S., Pinteau, A., Miere, D., Filip, L., Loghin, F., & Ferlay, A. (2015). Effect of hemp seed oil supplementation on plasma lipid profile, liver function, milk fatty acid, cholesterol, and vitamin A concentrations in Carpathian goats. *Czech Journal of Animal Science*, 60(7), 289-301. <https://doi.org/10.17221/8275-CJAS>
- Cremonesi, P., Capra, E., Turri, F., Lazzari, B., Chessa, S., Battelli, G., Colombini, S., Rapetti, L., & Castiglioni, B. (2022). Effect of diet enriched with hemp seeds on goat milk fatty acids, transcriptome, and miRNAs. *Frontiers in Animal Science*, 3, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.909271>
- Cremonesi, P., Conte, G., Severgnini, M., Turri, F., Monni, A., Capra, E., Rapetti, L., Colombini, S., Chessa, S., Battelli, G., Alves, S. P., Mele, M., & Castiglioni, B. (2018). Evaluation of the effects of different diets on microbiome diversity and fatty acid composition of rumen liquor in dairy goat. *Animal*, 12(9), 1856-1866. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003433>
- de Oca-Flores, M. E., Espinoza-Ortega, A., & Arriaga-Jordán, C. M. (2019). Technological and physicochemical properties of milk and physicochemical aspects of traditional Oaxaca cheese. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(2), 367-378. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4291>
- Der-Simonian, R., & Laird, N. (1986). Meta-analysis in clinical trials. *Control Clinical Trials*, 7(3), 177-188. [https://doi.org/10.1016/0197-2456\(86\)90046-2](https://doi.org/10.1016/0197-2456(86)90046-2)
- Drevon, D., Fursa, S. R., & Malcolm, A. L. (2017). Intercoder reliability and validity of WebPlotDigitizer in extracting graphed data. *Behavior Modification*, 41(2), 323-339. <https://doi.org/10.1177/014544551667399>
- Egger, M., Smith, G. D., Schneider, M., & Minder, C. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ*, 315(9), 629. <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.629>
- Fabro, C., Romanzin, A., & Spanghero, M. (2021). Fatty acid profile of table eggs from laying hens fed hempseed products: A meta-analysis. *Livestock Science*, 254(12), 104748. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104748>
- Favorit, V., Hood, W. R., Kavazis, A. N., & Skibieli, A. L. (2021). Graduate Student Literature Review: Mitochondrial adaptations across lactation and their molecular regulation in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 104(9), 10415-10425. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20138>
- Finckh, A., & Tramèr, M. R. (2008). Primer: Strengths and weaknesses of meta-analysis. *Nature Clinical Practice Rheumatology*, 4(3), 146-152. <https://doi.org/10.1038/ncprheum0732>
- Fukuda, S., Suzuki, Y., Murai, M., Asanuma, N., & Hino, T. (2006). Augmentation of vacenate production and suppression of vacenate biohydrogenation in cultures of mixed ruminal microbes. *Journal of Dairy Science*, 89(3), 1043-1051. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72171-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72171-3)
- Gómez-Cortés, P., & de la Fuente, M. Á. (2020). Metabolic origin and bioactive properties of odd and branched-chain fatty acids in ruminants' milk. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(4), 1174-1191. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i4.5171>
- Graulet, B. (2014). Ruminant milk: A source of vitamins in human nutrition. *Animal Frontiers*, 4(2), 24-30. <https://doi.org/10.2527/af.2014-0011>
- Gregory, A. T., & Denniss, A. R. (2018). An introduction to writing narrative and systematic reviews—tasks, tips and traps for aspiring authors. *Heart, Lung and Circulation*, 27(7), 893-898. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2018.03.027>
- Gu, Q., Lin, B., Wan, D., Kong, Z., Tang, Q., Yan, Q., Cai, X., Ding, H., Qin, G., & Zou, C. (2025). Effect of hemp seed oil on milk performance, blood parameters, milk fatty acid profile, and rumen microbial population in milk-producing buffalo: Preliminary study. *Animals*, 15(4), 514. <https://doi.org/10.3390/ani15040514>
- He, Q., Zhang, Z., Tian, H., Wang, H., Lu, X., Deng, H., Yang, F., Tang, X., Wang, J., Li, Z., Shen, S., Lu, Y., & Huang, J. (2025). Effects of partial replacement of soybean meal with hemp seed (*Cannabis sativa* L.) cake on the growth and meat quality in female three-yellow chickens. *Poultry Science*, 104(1), 104466. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104466>
- Hooijmans, C. R., Rovers, M. M., de Vries, R. B., Leenaars, M., Ritskes-Hoitinga, M., & Langendam, M. W. (2014). SYRCLE's risk of bias tool for animal studies. *BMC Medical Research Methodology*, 14(1), 43. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-14-43>
- Hosseini-Zadeh, N. G. (2024). Milk urea nitrogen is genetically associated with production and reproduction performance of dairy cows: A meta-analysis. *Livestock Science*, 283(5), 105461. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2024.105461>
- Iannaccone, M., Ianni, A., Contaldi, F., Esposito, S., Martino, C., Bennato, F., De Angelis, E., Grotta, L., Pomilio, F., Giansante, D., & Martino, G. (2019). Whole blood transcriptome analysis

- in ewes fed with hemp seed supplemented diet. *Scientific Reports*, 9(1), 16192. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52712-6>
- Ianni, A., Di Domenico, M., Bennato, F., Peserico, A., Martino, C., Rinaldi, A., Candeloro, L., Grotta, L., Cammà, C., Pomilio, F., & Martino, G. (2020). Metagenomic and volatile profiles of ripened cheese obtained from dairy ewes fed a dietary hemp seed supplementation. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 5882-5892. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17954>
- James, I. J., Osinowo, O. A., Smith, O. F., Bemji, M. N., Williams, T. J., Ajayi, O. L., Oluwole, O., & Olaniyi, M. O. (2017). Effects of bovine somatotropin on milk yield, mammary gland weight and histology in West African Dwarf goats. *Archivos de Zootecnia*, 66(254), 173-179. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49553570003.pdf>
- Jiang, J., Ma, L., Prakapenka, D., Vanraden, P. M., Cole, J. B., & Cole, J. B. (2019). A large-scale genome-wide association study in US Holstein Cattle. *Frontiers in Genetics*, 10, 412. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00412>
- Kalaitisidis, K., Parissi, Z., Theodoridis, A., Tsaliki, E., Vasilopoulou, K., Dokou, S., Lazari, D., Valergakis, G. E., & Giannenas, I. (2023). Evaluation of hemp cake (*Cannabis sativa*) and other hemp by-products of Greek origin and efficacy in dairy cow nutrition. *Archiva Zootechnica*, 26(2), 149-170. <https://doi.org/10.2478/azibna-2023-0020>
- Karlsson, L., Finell, M., & Martinsson, K. (2010). Effects of increasing amounts of hempseed cake in the diet of dairy cows on the production and composition of milk. *Animal*, 4(11), 1854-1860. <https://doi.org/10.1017/S1751731110001254>
- Kokić, B., Rakita, S., & Vujetić, J. (2024). Impact of using oilseed industry byproducts rich in linoleic and alpha-linolenic acid in ruminant nutrition on milk production and milk fatty acid profile. *Animals*, 14(4), 539. <https://doi.org/10.3390/ani14040539>
- Korichevá, J., Gurevitch, J., & Mengersen, K. (2013). *Handbook of meta-analysis in ecology and evolution*. Princeton University Press.
- Lacasse, P., Ollier, S., Lollivier, V., & Boutinaud, M. (2016). New insights into the importance of prolactin in dairy ruminants. *Journal of Dairy Science*, 99(1), 864-874. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10035>
- Lemosquet, S., Delamaire, E., Lapierre, H., Blum, J. W., & Peyraud, J. L. (2009). Effects of glucose, propionic acid, and nonessential amino acids on glucose metabolism and milk yield in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 3244-3257. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1610>
- Li, M., Hassan, F., Tang, Z., Peng, L., Liang, X., Li, L., Peng, K., Xie, F., & Yang, C. (2020). Mulberry leaf flavonoids improve milk production, antioxidant, and metabolic status of water buffaloes. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 599. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00599>
- Lopez, A., Bellagamba, F., Savoini, G., Moretti, V. M., & Cattaneo, D. (2022). Characterization of fat quality in cow milk from Alpine farms as influenced by seasonal variations of diets. *Animals*, 12(4), 515. <https://doi.org/10.3390/ani12040515>
- Lucio-Ruiz, F., Godina-Rodríguez, J. E., Granados-Rivera, L. D., Orzuna-Orzuna, J. F., Joaquín-Cancino, S., & Hernández-García, P. A. (2024). Meta-analysis of dietary supplementation with flavonoids in small ruminants: Growth performance, antioxidant status, nutrient digestibility, ruminal fermentation, and meat quality. *Small Ruminant Research*, 241(12), 107401. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2024.107401>
- Lunn, J., & Theobald, H. E. (2006). The health effects of dietary unsaturated fatty acids. *Nutrition Bulletin*, 31(3), 178-224. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2006.00571.x>
- Mierlita, D. (2016). Fatty acid profile and health lipid indices in the raw milk of ewes grazing part-time and hemp seed supplementation of lactating ewes. *South African Journal of Animal Science*, 46(3), 237-246. <https://doi.org/10.4314/sajas.v46i3.3>
- Mierliță, D. (2018). Effects of diets containing hemp seeds or hemp cake on fatty acid composition and oxidative stability of sheep milk. *South African Journal of Animal Science*, 48(3), 504-515. <https://doi.org/10.4314/sajas.v48i3.11>
- Mierlita, D., Mierlita, S., Struti, D. I., & Mintas, O. S. (2023). Effects of hemp seed on the production, fatty acid profile, and antioxidant capacity of milk from goats fed hay or a mixed shrubs-grass rangeland. *Animals*, 13(2), 3435. <https://doi.org/10.3390/ani13223435>
- Mohamed, N., & House, J. D. (2024). Safety and efficacy of hemp-derived products in animal feeds—a narrative review. *Canadian Journal of Animal Science*, 104(4), 390-410. <https://doi.org/10.1139/cjas-2023-0133>
- Mourot, J., & Guillevic, M. (2015). Effect of introducing hemp oil into feed on the nutritional quality of pig meat. *OCL Oilseeds Fats Crops Lipids*, 22(6), D612. <https://doi.org/10.1051/ocl/2015035>
- Mu, T., Hu, H., Ma, Y., Feng, X., Zhang, J., & Gu, Y. (2021). Regulation of key genes for milk fat synthesis in ruminants. *Frontiers in Nutrition*, 8, 765147. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.765147>
- Muedi, H. T. H., Kujoana, T. C., Shai, K., Mabelebele, M., & Sebola, N. A. (2024). The use of industrial hemp (*Cannabis sativa*) on farm animal's productivity, health and reproductive performance: A review. *Animal Production Science*, 64(2), AN23268. <https://doi.org/10.1071/AN23268>
- Mukhametov, A., Yerbulekova, M., Aitkhozhayeva, G., Tuyakova, G., & Dautkanova, D. (2022). Effects of -3 fatty acids and ratio of -3/ -6 for health promotion and disease prevention. *Food Science and Technology*, 42, e58321. <https://doi.org/10.1590/fst.58321>
- Orzuna-Orzuna, J. F., Chay-Canul, A. J., & Lara-Bueno, A. (2023). Performance, milk fatty acid profile and oxidative status of lactating small ruminants supplemented with microalgae: A meta-analysis. *Small Ruminant Research*, 226(9), 107031. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107031>
- Orzuna-Orzuna, J. F., Godina-Rodríguez, J. E., Garay-Martínez, J. R., Reséndiz-González, G., Joaquín-Cancino, S., & Lara-Bueno, A. (2024). Milk yield, composition, and fatty acid profile in milk of dairy cows supplemented with microalgae *Schizochytrium* sp.: A meta-analysis. *Agriculture*, 14(7), 1119. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071119>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E. A., Brennan, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372(71), 1-9. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

- Rapetti, L., Colombini, S., Battelli, G., Castiglioni, B., Turri, F., Galassi, G., Battelli, M., & Crovetto, G. M. (2021). Effect of linseeds and hemp seeds on milk production, energy and nitrogen balance, and methane emissions in the dairy goat. *Animals*, 11(9), 2717. <https://doi.org/10.3390/ani11092717>
- Rupp, R., Beaudeau, F., & Boichard, D. (2000). Relationship between milk somatic-cell counts in the first lactation and clinical mastitis occurrence in the second lactation of French Holstein cows. *Preventive Veterinary Medicine*, 46(2), 99-111. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(00\)00142-2](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(00)00142-2)
- Šalavardić, Ž. K., Novoselec, J., Đidara, M., Steiner, Z., Čavar, S., Modić Šabić, A., & Antunović, Z. (2021). Effect of dietary hempseed cake on milk performance and haemato-chemicals in lactating Alpine dairy goats. *Animal*, 15(7), 100255. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100255>
- Schwerdtfeger, J., Görs, S., Dannenberger, D., & Kuhla, B. (2025). Replacing soybean meal with hemp leaves in a dairy cow diet: Plasma antioxidative capacity, inflammatory parameters and milk constituents. *Animals*, 15(10), 1414. <https://doi.org/10.3390/ani15101414>
- Semwogerere, F., Chenaimoyo, L. F., Chikwanha, O., Marufu, M., & Mapiye, C. (2020). Bioavailability and bioefficacy of hemp by-products in ruminant meat production and preservation: A review. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 572906. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.572906>
- Semwogerere, F., Chikwanha, O. C., Katiyatiya, C. L., Marufu, M. C., & Mapiye, C. (2024). Nutrient intake, digestibility, and utilization in goats fed graded levels of hempseed cake finisher diets. *Tropical Animal Health and Production*, 56(1), 21. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03864-1>
- Sieck, R. L., Treffer, L. K., Ponte-Viana, M., Khalimonchuk, O., Schmidt, T. B., Yates, D. T., & Petersen, J. L. (2020). Beta-adrenergic agonists increase maximal output of oxidative phosphorylation in bovine satellite cells. *Translational Animal Science*, 4(1), S94-S97. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa112>
- Tabacco, E., Merlino, V. M., Coppa, M., Massaglia, S., & Borreani, G. (2021). Analyses of consumers' preferences and of the correspondence between direct and indirect label claims and the fatty acid profile of milk in large retail chains in northern Italy. *Journal of Dairy Science*, 104(12), 12216-12235. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20191>
- Tabiś, A., Szumny, A., Bania, J., Pacyga, K., Lewandowska, K., & Kupczyński, R. (2024). Comparison of the effects of essential oils from *Cannabis sativa* and *Cannabis indica* on selected bacteria, rumen fermentation, and methane production – In vitro study. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(11), 5861. <https://doi.org/10.3390/ijms25115861>
- Taşkesen, H. O., & Hacer, T. (2024). Possibilities of using hemp (*Cannabis sativa* L.) and its byproducts in sheep nutrition – A review. *Annals of Animal Science*, 25(1), 159-173. <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0065>
- Tilami, S. K., & Kouřimská, L. (2022). Assessment of the nutritional quality of plant lipids using atherogenicity and thrombogenicity indices. *Nutrients*, 14(8), 3795. <https://doi.org/10.3390/nu14183795>
- Ulbricht, T., & Southgate, D. (1991). Coronary heart disease: Seven dietary factors. *Lancet*, 338(8), 985-992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-M](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M)
- Ungerfeld, E. M., Urrutia, N. L., Vasconez-Montufar, C., & Morales, R. (2019). Factors associated with the content of mammary-synthesized fatty acids in milk fat: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 4105-4117. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15157>
- Viechtbauer, W. (2010). Conducting meta-analyses in R with the metaphor package. *Journal of Statistical Software*, 36(3), 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v036.i03>
- Vlaeminck, B., Dufour, C., van Vuuren, A. M., Cabrita, A. R. J., Dewhurst, R. J., Demeyer, D., & Fievez, V. (2005). Use of odd and branched-chain fatty acids in rumen contents and milk as a potential microbial marker. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 1031-1042. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72771-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72771-5)
- Wongpom, B., Koonawootrittriron, S., Elzo, M. A., & Suwanasopee, T. (2017). Milk yield, fat yield and fat percentage associations in a Thai multibreed dairy population. *Agriculture and Natural Resources*, 51(3), 218-222. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.12.008>
- Zymon, M., Strzetelski, J., & Skrzyński, G. (2014). Aspects of appropriate feeding of cows for production of milk enriched in the fatty acids, EPA and DHA. A review. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 23(2), 109-116. <https://doi.org/10.22358/jafs/65698/2014>