








Artículo original / Original article

Efecto de la colina protegida en el rendimiento productivo y microbioma ruminal de corderos en crecimiento

Effect of protected choline on productive performance and ruminal microbiome of growing lambs

Alejandro Ley de Coss ^{1*}; Reynerio A. A. Bran ¹; Oziel D. Montañez Valdez ²; Beatriz Zambrano Castillo ¹; Cándido E. Guerra Medina ³; Fátima de C. Velasco Fernández ⁴; Alondra K. Gamboa López ⁴

¹Cuerpo Académico de Recursos Genéticos Tropicales, Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V, Universidad Autónoma de Chiapas, Villaflores, Chiapas, México.

²Grupo de Investigación en Nutrición Animal (GINA), Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara, Ciudad Guzmán, Jalisco, México.

³Centro de Investigación del Pacífico Sur, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México.

⁴Egresada de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V, Universidad Autónoma de Chiapas, Villaflores, Chiapas, México.

RESUMEN

La colina es un nutriente esencial para los rumiantes, involucrada en funciones metabólicas clave. Se tuvo como objetivo evaluar el efecto de la suplementación con colina protegida de la degradación ruminal (CPDR) sobre el rendimiento productivo y el microbioma ruminal en corderos. Tres corderos machos (16 ± 0.45 kg PV) fueron distribuidos en un cuadro latino 3×3 con doble repetición. Cada periodo experimental duró 14 días. A los animales se les asignó una dieta basal formulada para aportar 1.15 Mcal de ENg/kg de MS y 15% de proteína cruda. Se evaluaron la ganancia diaria de peso (GDP), el consumo de materia seca (CMS), la conversión alimenticia (CA), el pH, el $\text{NH}_3\text{-N}$ ruminal y la concentración de bacterias. La suplementación con CPDR incrementó la GDP de forma dependiente del tratamiento, y mejoró la CA sin afectar el CMS ($p \leq 0.05$). No se observaron cambios significativos ni en el pH ni en las poblaciones bacterianas ($p > 0.05$), y ambos permanecieron dentro de los rangos fisiológicos óptimos, lo que sugiere que la CPDR favorece el desempeño productivo sin comprometer la fermentación ruminal.

Palabras clave: complejo-B sobrepasante; fermentación ruminal; nutraceutico, nutrición de rumiantes.

ABSTRACT

Choline is an essential nutrient for ruminants, involved in key metabolic functions. The objective of this study was to evaluate the effect of rumen-protected choline (RPC) supplementation on productive performance and the ruminal microbiome in lambs. Three male lambs (16 ± 0.45 kg BW) were assigned to a 3×3 Latin square design with two replicates. Each experimental period lasted 14 days. Animals were fed a basal diet formulated to supply 1.15 Mcal of net energy for gain (NEg) per kg of dry matter and 15% crude protein. Average daily gain (ADG), dry matter intake (DMI), feed conversion ratio (FCR), ruminal pH, ruminal ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), and bacterial concentration were evaluated. Supplementation with RPC increased ADG in a treatment-dependent manner and improved FCR without affecting DMI ($p \leq 0.05$). No significant changes in ruminal pH or bacterial populations were observed ($p > 0.05$), with both remaining within optimal physiological ranges, suggesting that RPC enhances productive performance without compromising ruminal fermentation.

Keywords: bypass B-complex; ruminal fermentation; nutraceutical; ruminant nutrition

Cómo citar / Citation: Ley de Coss, A., Bran, R. A. A., Montañez Valdez, O. D., Zambrano Castillo, B., Guerra Medina, C. E., Velasco Fernández, F. de C., & Gamboa López, A. K. (2026). Efecto de la colina protegida en el rendimiento productivo y microbioma ruminal de corderos en crecimiento. *Revista Peruana de Investigación Agropecuaria*, 5(1), e129. <https://doi.org/10.56926/repia.v5i1.129>

Editor: Dr. Fred William Chu Koo 

Recibido: 29/09/2025

Aceptado: 01/04/2025

Publicado: 20/04/2026

* alejandro.ley@unach.mx (autor de correspondencia)



© Authors. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

1. INTRODUCCIÓN

La colina es un nutriente esencial que participa en funciones fisiológicas críticas, entre ellas el mantenimiento de la integridad de las membranas celulares, la síntesis de neurotransmisores, la señalización celular, el metabolismo lipídico y la provisión de grupos metilo (Hou et al., 2022). Su conversión en fosfatidilcolina, lisofosfatidilcolina y esfingomiélin resalta su papel central en la homeostasis lipídica y en la adecuada función celular (Kenny et al., 2025).

Aunque existe síntesis endógena de colina, esta resulta insuficiente durante periodos de alta demanda metabólica, como la lactancia, la gestación o el crecimiento acelerado (desarrollo), lo que justifica su suplementación dietética (Pinotti et al., 2004). En sistemas de producción intensiva, donde los animales enfrentan mayores exigencias metabólicas, esta suplementación adquiere un papel estratégico para mantener la productividad (Ley-de Coss et al., 2024).

En los rumiantes, la colina libre y el cloruro se degradan rápidamente en el rumen, lo que limita su disponibilidad posruminal (Holdorf et al., 2023). Para superar este problema, se ha desarrollado la colina protegida de la degradación ruminal (CPDR), formulada para liberarse en el intestino delgado y maximizar su absorción (Arshad & Santos, 2024). En bovinos, la suplementación con CPDR ha demostrado efectos positivos al reducir la acumulación de triglicéridos hepáticos, al mejorar el consumo de materia seca y al reforzar las funciones inmunológicas y antioxidantes (Arshad et al., 2020).

En animales de engorda, dosis moderadas de CPDR favorecen la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia sin modificar la ingesta, aunque niveles excesivos pueden comprometer la calidad de la canal (Bindel et al., 2000; Kawas et al., 2020). Estos hallazgos evidencian que los efectos de la CPDR dependen de la dosis y del sistema de producción en el que se utilice.

De forma paralela, se han desarrollado aditivos fitogénicos ricos en fosfatidilcolina, como BioCholine®, obtenidos de *Achyranthes aspera*, *Trachyspermum ammi*, *Azadirachta indica*, *Citrullus colocynthis* y *Andrographis paniculata* (Mendoza-Martínez et al., 2024). Estos suplementos aportan metabolitos secundarios con propiedades antimicrobianas, antioxidantes e inmunoestimulantes (Mendoza et al., 2019). En pequeños rumiantes, la suplementación con BioCholine® ha mejorado la salud general, la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia (Jin et al., 2023). Incluso se ha reportado la modulación de las concentraciones de 5-hidroximetilcitosina en sangre, lo que sugiere posibles efectos epigenéticos (Roque-Jiménez et al., 2020).

Tanto la colina sintética como los aditivos fitogénicos a base de colina han demostrado incrementar la disponibilidad de este nutriente y mejorar los parámetros productivos. En corderos, dosis de hasta 2.5 g de CPDR por kg de materia seca aumentan la ganancia de peso sin alterar el pH ruminal ni las poblaciones bacterianas totales, celulolíticas o ácido-lácticas (Huang et al., 2023; Suarez-Suarez et al., 2023). En este contexto, surge la necesidad de evaluar la suplementación con CPDR en condiciones tropicales, donde los sistemas de producción ovina enfrentan limitaciones nutricionales y ambientales. Este vacío de conocimiento limita la aplicación práctica de la CPDR en razas adaptadas al trópico, como la raza Katahdin, y subraya la importancia de generar evidencia local.

Nuestra hipótesis plantea que la suplementación con niveles crecientes de CPDR aumentará la ganancia diaria de peso y mejorará la conversión alimenticia en corderos en crecimiento, optimizando el metabolismo lipídico hepático sin alterar el equilibrio ruminal. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la CPDR sobre la ganancia diaria de peso, la eficiencia alimenticia, las poblaciones bacterianas ruminales, el pH ruminal y la concentración de amonio-nitrógeno en corderos Katahdin en crecimiento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El experimento se realizó de enero a julio de 2024 en las instalaciones del Laboratorio de Sanidad Animal, que cuenta con jaulas metabólicas para albergar a los animales, ubicadas en el Centro Universitario de Transferencia de Tecnología (CUTT) "San Ramón", perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas, en Villaflores, Chiapas, México (16°27'59" N y 93°28'43" O). El clima se clasifica como cálido subhúmedo (AW1) (W)(i) g, de acuerdo con la clasificación de Köppen y Thornthwaite (Yadav, 2024). La región presenta una precipitación anual promedio de 1200 mm, concentrada entre junio y noviembre, una temperatura media de 22 °C y una altitud de 591 m s.n.m.

Animales y tratamientos

Se utilizaron tres corderos machos enteros de la raza Katahdin, con un peso vivo inicial promedio de 16 ± 0.45 kg (media \pm DE), alojados individualmente en jaulas metabólicas y manejados de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio (NOM-062-ZOO-1999). Cada cordero fue asignado aleatoriamente a un diseño cuadrado latino 3×3 con dos réplicas temporales separadas por 30 días. El periodo experimental tuvo una duración de 14 días: siete de adaptación y siete de recolección de datos y de muestras para laboratorio.

Se evaluaron tres tratamientos: DB (control, sin CPDR), DB + 4 g de CPDR animal/día y DB + 8 g de CPDR animal/día. La fuente de CPDR sintética fue Excential Rumenpass CH® (25% de cloruro de colina; ORFFA, Países Bajos; UE), administrada mezclada con el alimento inmediatamente antes de ofrecer las raciones matutinas (08:00 h) y vespertinas (16:00 h). El agua se proporcionó ad libitum.

Las dietas se formularon con base en los requerimientos del NRC (2007) para corderos en crecimiento, a fin de cubrir dichos requerimientos, aportando 1.15 Mcal de energía neta de ganancia (ENg) por kg de MS y 15% de proteína cruda (PC). La dieta basal (DB, control) estuvo conformada por los siguientes ingredientes: 39% rastrojo de maíz, 31% maíz rolado amarillo, 20% pasta de soya 44, 5% melaza de caña, 2% grasa bypass, 2% de una mezcla mineral comercial Salmipro® (contiene: Ca 20%; P 3%; Mg 6.5%; S 0.5%; Se 500 ppm; Zn 2500 ppm; I 30 ppm; Co 30 ppm; Cr 500 ppm; Cu 200 ppm; Mn 2500 ppm; Fe 1500 ppm) y 1% NaCl (**Tabla 1**). Previo al inicio del ensayo, los animales fueron tratados con Fipronil al 2% por vía percutánea (1 mg/kg PV) para el control de ectoparásitos.

Tabla 1.*Composición nutritiva calculada de la dieta.*

Nutriente	Concentración (%)
Materia seca, MS	68.60
Proteína cruda, PC	15.00
Extracto etéreo, EE	4.81
Fibra detergente neutra, FDN	26.62
Fibra detergente acida	15.09
Calcio, Ca	0.91
Fosforo, P	0.38
Energía Neta para Ganancia (Mcal/kg de MS)	1.15

Medición de variables productivas

El consumo de materia seca (CMS; g/día) se determinó diariamente durante el periodo de toma de muestras, como la diferencia entre el alimento ofrecido y rechazado. El peso vivo de cada cordero se registró al inicio y al final de cada periodo experimental, tras un ayuno parcial de 2 horas. Las mediciones del peso se realizaron con una balanza electrónica calibrada, con una precisión de ± 0.1 kg. La ganancia diaria de peso (GDP; g/día) se calculó como la diferencia de peso entre los días de muestreo, dividida por la duración del periodo. La conversión alimenticia (CA) se obtuvo como la relación entre el CMS y el GDP por animal.

Observaciones conductuales

Con el fin de evaluar la palatabilidad de la dieta y los posibles efectos fisiológicos de la CPDR, se realizaron observaciones continuas de comportamiento durante el día 7 de cada periodo experimental, de 08:00 a 20:00 h. las observaciones se efectuaron a intervalos de 10 minutos se registrando el tiempo (min/día) destinado a comer, beber, rumiar y descansar o desplazarse dentro de las jaulas, siguiendo la metodología de Baumont et al. (2004). La condición corporal (CC; escala 1 a 5) se evaluó al inicio y al final de cada periodo (Kaler et al., 2009). Además, se registraron condiciones de salud general, como: pelaje, la presencia de secreción nasal, la salud ocular y la actitud general. Las observaciones directas se complementaron con grabaciones en video (cámara fija de alta resolución) para validar la consistencia de los registros y garantizar la confiabilidad de los datos.

Parámetros microbiológicos y fermentativos

En cada periodo experimental, se tomaron muestras de fluido ruminal durante 7 días a las 10:00 h. Haciendo uso de una sonda esofágica, se obtuvieron aproximadamente 100 ml por animal, los cuales se filtraron a través de cuatro capas de gasa estéril. Las muestras se procesaron para determinar, bacterias totales (BT), bacterias celulolíticas (BC) y bacterias ácido-lácticas (BAL).

Para el recuento bacteriano, 0.5 ml de fluido ruminal se diluyó en serie e inoculó por triplicado en los siguientes medios estériles: glucosa-celobiosa-almidón más fluido ruminal (GCS+FR) para BT, celulosa + FR (C+FR) para BC, y medio enriquecido a base de MRS para BAL. Cada medio se dispensó en 4.5 ml en tubos de 13 x 100 mm, previamente esterilizados a 121 °C y 15 psi durante 15 min (Autoclave All American 1925X, EUA). Los cultivos se incubaron a 38 °C durante 24 h en condiciones

anaerobias con flujo de CO₂, utilizando la técnica del número más probable (NMP) (Cobos et al., 2011).

El medio GCS+FR se formuló con 0.06 g de glucosa, 0.06 g de celobiosa, 0.06 g de almidón, 30 ml de fluido ruminal clarificado (centrifugado 15 min a 17664 g y esterilizado 20 min a 121 °C y 15 psi), soluciones minerales I y II (**Tabla 2**), Na₂CO₃ al 8%, solución reductora de sulfuro-cisteína, peptona tríptica y resazurina al 0.1% como indicador redox. En el medio C+FR se sustituyó el sustrato GCS por 0.1 g de papel filtro Whatman. Para el cultivo de BAL se empleó un medio específico compuesto por peptona de proteasa, extracto de carne, extracto de levadura, glucosa, monooleato de sorbitán, KH₂PO₄, acetato de sodio, citrato de sodio, MgSO₄·7H₂O y MnSO₄·H₂O, ajustado a pH 6.35 y esterilizado a 121 °C y 15 psi durante 15 min.

Tabla 2.

Componentes químicos de las soluciones minerales I y II.

Reactivos	Cantidad (g) para 1.0 L de agua destilada
Solución mineral I, 5.0 ml	
K ₂ HPO ₄	6.0
Solución mineral II, 5.0 ml	
KH ₂ PO ₄	6.0
(NH ₄) ₂ SO ₄	6.0
NaCl	12.0
MgSO ₄	2.45
CaCl ₂ ·H ₂ O	1.6

El pH ruminal se determinó mediante un electrodo de vidrio y un potenciómetro digital (Orion A250, Orion Research Inc., EUA). La concentración de nitrógeno amoniacal (NH₃-N) se determinó mediante el método colorimétrico fenol-hipoclorito descrito por Broderick y Kang (1980). Diez mililitros de fluido ruminal filtrado se diluyeron 1:10 con agua destilada, y a cada alícuota de 1.0 mL se añadieron 100 µL de reactivo de fenol, 100 µL de solución alcalina (NaOH 50 g/L) y 100 µL de hipoclorito de sodio al 5%. Tras incubación a 37 °C por 15 min, el complejo de indofenol se cuantificó a 630 nm con un espectrofotómetro UV-Vis (METASH UV-6000, China), utilizando una curva de calibración con estándares de NH₄Cl (0-50 mg/L; R² > 0.99).

Análisis estadístico

Las variables CMS, GDP, CA, pH ruminal y NH₃-N se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS (SAS, 2011, versión 9.3); el modelo estadístico correspondió a un cuadrado latino de 3 × 3 con dos réplicas temporales separadas por 30 días:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + A_j + P_k + R_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} = observación de la variable dependiente (CMS, GDP, CA, pH ruminal y nitrógeno amoniacal), μ = media general, T_i = efecto del i -ésimo tratamiento (dosis de CPDR), A_j = efecto aleatorio del j -ésimo animal, P_k = efecto del k -ésimo periodo, R_l = efecto de la l -ésima réplica temporal y ε_{ijkl} = error aleatorio, asumiendo que hay distribución $N(0, \sigma^2)$.

Las variables microbiológicas (BT, BC y BAL) no cumplieron los supuestos de normalidad y, por lo tanto, se analizaron mediante la prueba de Kruskal–Wallis para comparaciones múltiples no

paramétricas con rangos independientes (Wilcoxon). Esta prueba evalúa si existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de la mediana entre tratamientos.

$$H = \frac{9}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

Donde: H = estadístico de Kruskal-Wallis, n = número total de observaciones, k = número de tratamientos, R_i = suma de rangos del i -ésimo grupo, n_i = número de observaciones del i -ésimo grupo. Las diferencias se consideraron significativas con $p < 0.05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento y eficiencia alimenticia

La suplementación con CPDR mejoró el desempeño productivo de los corderos Katahdin en crecimiento de manera dosis-dependiente, el peso vivo final y la ganancia diaria de peso (GDP) se incrementaron significativamente ($p < 0.05$) con la suplementación, alcanzando los valores más altos con la dosis de 8 g de CPDR/animal/día en comparación con la dieta basal sin afectar el peso inicial. El consumo de materia seca (CMS) permaneció similar entre tratamientos ($p > 0.05$); la conversión alimenticia (CA) mejoró significativamente con ambos niveles suplementados con CPDR, sin diferencias entre ellos, lo que indicó una mayor eficiencia en la utilización del alimento en el tejido magro (Huang et al., 2023) (**Tabla 3**).

Estos resultados sugieren que la suplementación con 8 g CPDR animal/día generó la mayor GDP sin aumentar el CMS, corroborando una respuesta dosis-dependiente consistente con lo reportado por Li et al. (2015) y Supriyati et al. (2016), quienes observaron mejoras en GDP y CA con niveles moderados de CPDR. Estos hallazgos sustentan que la CPDR optimiza el balance energético y proteico mediante la mejora del transporte de lípidos y de la síntesis de fosfolípidos, particularmente de fosfatidilcolina, indispensable para la exportación hepática de triglicéridos en lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), lo que favorece el rendimiento productivo (Shahsavari et al., 2016).

La ausencia de efectos adversos sobre la palatabilidad y el consumo voluntario confirmó que hasta 8 g/día de CPDR no comprometieron la ingestión de alimento (Lee et al., 2012). En conjunto, la suplementación con CPDR se presenta como una estrategia nutricional eficaz para mejorar la eficiencia alimenticia y la tasa de crecimiento en corderos en finalización, sin afectar el consumo voluntario ni la salud metabólica.

Tabla 3.

Efecto de la colina protegida sobre la ganancia diaria de peso, el consumo de materia seca y la conversión alimenticia en corderos de raza Katahdin.

Variable	Tratamientos			
	BD	BD+4	BD+8	EEM
Peso inicial, kg	15.55 ^a	16.35 ^a	15.95 ^a	0.71
Peso final, kg	24.39 ^b	26.98 ^{ab}	28.78 ^a	0.23
Ganancia diaria de peso, g	157.81 ^b	189.82 ^{ab}	229.10 ^a	13.61
Consumo de materia seca, g	867.84 ^a	797.58 ^b	899.45 ^a	56.01

Conversión alimenticia	5.49 ^a	4.20 ^b	3.92 ^b	0.96
------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	------

BD = dieta basal (control); BD+4 = BD + 4 g CPDR/animal/día; BD+8 = BD + 8 g CPDR/animal/día. EEM = error estándar de la media. Los superíndices a, b indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

Comportamiento alimenticio y actividad digestiva. En promedio, todos los corderos destinaron entre 4 y 4.5 h/día al consumo de materia seca, entre 5 y 5.3 h/día a la rumia, entre 20 y 25 min/día a la ingesta de agua y entre 9 y 10 h/día al descanso o a la locomoción. Estos patrones de actividad permanecieron sin cambios entre los tres tratamientos, lo que indicó que la inclusión de CPDR no afectó la palatabilidad ni la ingesta voluntaria, ni interfirió con la rutina de rumia necesaria para una fermentación eficiente de la fibra. Estos resultados coincidieron con datos publicados en corderos y novillos, en los que dosis similares de CPDR no modificaron los tiempos de alimentación ni de rumia (Huang et al., 2023).

Además, la estabilidad en el tiempo de bebida sugirió que la suplementación con CPDR no incrementó los requerimientos de agua, mientras que los prolongados periodos de descanso o movimiento reflejaron confort y bienestar, sin signos de inquietud ni trastornos gastrointestinales. En conjunto, se confirmó que la CPDR puede administrarse hasta 8 g/animal/día sin provocar cambios en el comportamiento alimenticio ni comprometer la salud ruminal.

Variables microbiológicas y fermentativas. La suplementación con CPDR no afectó significativamente el pH ruminal ni las poblaciones de bacterias totales (BT), celulolíticas (BC) y ácido-lácticas (BAL) ($p > 0.05$; **Tabla 4**), lo que indicó que la homeostasis fermentativa permaneció estable. Sin embargo, el tratamiento con 8 g/animal/día de CPDR mostró una ligera tendencia al alza en los conteos de BT y BAL, sin cambios en las poblaciones de BC. Este patrón sugirió que la dosis más alta de CPDR pudo generar un ambiente ligeramente más favorable para ciertos grupos microbianos, aunque sin comprometer la digestión de la fibra.

Todas las poblaciones bacterianas se mantuvieron dentro de los rangos fisiológicos normales en rumiantes saludables (Dehority, 2003), lo que respalda la hipótesis de que la CPDR, al liberarse de forma posruminal, preservó la integridad del ecosistema ruminal sin inducir desequilibrios fermentativos.

Tabla 4.

Efecto de la colina protegida sobre el microbioma, el pH y la concentración de nitrógeno amoniacal en el rumen de corderos de raza Katahdin.

Ruminal variable	Tratamientos			
	BD	BD+4	BD+8	EEM
Bacterias totales ($\times 10^{12}$ UFC mL ⁻¹)	15.55 ^a	16.35 ^a	15.95 ^a	0.71
Bacterias celulolíticas ($\times 10^9$ UFC mL ⁻¹)	24.39 ^b	26.98 ^{ab}	28.78 ^a	0.23
Bacterias ácido lácticas ($\times 10^{10}$ UFC mL ⁻¹)	157.81 ^b	189.82 ^{ab}	229.10 ^a	13.61
pH ruminal (2 h postprandial)	867.84 ^a	797.58 ^b	899.45 ^a	56.01
Nitrógeno amoniacal (mg dL ⁻¹)	5.49 ^a	4.20 ^b	3.92 ^b	0.96

BD = dieta basal (control); BD+4 = BD + 4 g CPDR/animal/día; BD+8 = BD + 8 g CPDR/animal/día. EEM = error estándar de la media. Los superíndices a, b indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

pH ruminal y concentración de nitrógeno amoniacal (NH₃-N). El pH ruminal osciló entre 6.12 y 6.35 (2 h posprandial; **Tabla 4**), valores superiores al umbral crítico ($pH < 6.0$) asociado con acidosis subclínica y consistentes con una fermentación óptima de la fibra (de Veth et al., 2016). Estos

hallazgos coincidieron con estudios previos en los que la RPC no modificó parámetros fermentativos básicos (Lee et al., 2012). Además, se ha documentado que la colina no protegida se degrada rápidamente por la microbiota ruminal (de Veth et al., 2016), lo que justifica el uso de CPDR para maximizar la absorción intestinal y los efectos sistémicos de la colina (Kawas et al., 2020).

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) registradas (12.45 a 13.05 mg/dL; **Tabla 4**) se ubicaron dentro del rango óptimo (10 a 20 mg/dL) para la síntesis de proteínas microbianas en rumiantes (Russell & Wilson, 1996). Se observó un ligero incremento no significativo, con 8 g de CPDR ($p > 0.05$), lo que indica que la suplementación no alteró el equilibrio entre la degradación de proteínas y la disponibilidad de energía fermentable.

Estos resultados fueron consistentes con investigaciones en rumiantes en crecimiento donde la CPDR no modificó significativamente las concentraciones ruminales de $\text{NH}_3\text{-N}$. En rumiantes mayores, Bryant et al. (1999) reportaron niveles estables de 12.5 a 15 mg/dL con diversas dosis de CPDR, dentro del rango óptimo para la síntesis proteica microbiana. De manera similar, Bindel et al. (2000) observaron un incremento marginal de $\text{NH}_3\text{-N}$ (14.0 a 15.6 mg/dL) con 20 g de CPDR animal/día, aunque aún dentro de valores fisiológicos. En corderos en crecimiento y ovinos en engorda, Li et al. (2015) reportaron concentraciones de 11 a 13 mg/dL con dosis moderadas de CPDR (2.5 g/kg de MS), mientras que Supriyati et al. (2016) encontraron niveles de 12 a 14 mg/dL sin diferencias respecto al control.

En conjunto, la evidencia sugiere que en corderos la CPDR mantuvo las concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N}$ dentro de rangos compatibles con una fermentación eficiente y sin riesgo de acumulación tóxica (Cobos et al., 2011). En general, la inclusión de CPDR no generó cambios significativos en los conteos bacterianos, el pH ni los niveles de $\text{NH}_3\text{-N}$, lo que demuestra que la RPC puede administrarse hasta 8.0 g/animal/día sin comprometer la estabilidad del ecosistema ruminal. Estos resultados se alinearon con la literatura previa, que demuestra que la CPDR mejora parámetros productivos sin afectar la fermentación ni la microbiota ruminal (Supriyati et al., 2016; de Veth et al., 2016).

CONCLUSIONES

La suplementación con CPDR se asoció con un incremento significativo de la ganancia diaria de peso y una mejora en la eficiencia de conversión alimenticia en corderos Katahdin en crecimiento, sin alterar el consumo voluntario de materia seca. Asimismo, el pH, las concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N}$ y los recuentos de las bacterias totales, celulolíticas y ácido lácticas se mantuvieron dentro de los rangos fisiológicos, lo que indica que la CPDR no interfiere con los indicadores medidos de la fermentación ruminal ni con la ecología microbiana.

Estos resultados sugieren que el uso de la CPDR constituye una estrategia nutricional efectiva para optimizar el crecimiento de rumiantes en condiciones tropicales. No obstante, se requieren investigaciones adicionales que permitan evaluar con mayor detalle la dinámica del microbioma ruminal y la integración metabólica en razas adaptadas a climas cálidos, como el cordero Katahdin.

AGRADECIMIENTOS

A todas y todos los estudiantes de la Licenciatura en Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas, quienes, con compromiso, se han involucrado en el desarrollo de proyectos de investigación-acción en campo, trabajando de la mano con los productores ganaderos de la región Frailesca, en el estado de Chiapas, México. Su participación ha sido fundamental para vincular el conocimiento académico con las necesidades reales del sector productivo y para contribuir al fortalecimiento de la ganadería regional.

FINANCIAMIENTO

Al Grupo Agropecuario VillaCel, S. P. R. de R. L. de C. V., expresamos nuestro reconocimiento por el financiamiento otorgado para la realización de la investigación. Su colaboración ha sido esencial para el desarrollo de estos proyectos.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Investigación: Alondra G. y Fátima V.

Metodología y análisis de datos: Alejandro, Alondra G. y Fátima V.

Validación: Reynerio B., Beatriz Z., Oziel M. y Cándido G.

Redacción – borrador original: Alejandro.

Redacción – revisión y edición, discusión de resultados y aprobación del manuscrito: Reynerio B., Beatriz Z., Oziel M. y Cándido G.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arshad, M., Zenobi, G., Staples, C. R., & Santos, J. E. P. (2020). Meta-analysis of the effects of supplemental rumen-protected choline during the transition period on performance and health of parous dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 282–300. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16842>
- Arshad, U., & Santos, J. E. P. (2024). Exploring choline's important roles as a nutrient for transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 107(6), 4357–4369. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24050>
- Baumont, R., Cohen-Salmon, D., Prache, S., & Sauvant, D. (2004). A mechanistic model of intake and grazing behaviour in sheep integrating sward architecture and animal. *Animal Feed Science and Technology*, 112(1–4), 5–28. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.10.005>
- Bindel, D. J., Drouillard, J. S., Titgemeyer, E. C., Wessels, R. H., & Löest, C. A. (2000). Effects of ruminally protected choline and dietary fat on performance and blood metabolites of finishing heifers. *Journal of Animal Science*, 78(10), 2497–2503. <https://doi.org/10.2527/2000.78102497x>
- Broderick, G. A., & Kang, J. H. (1980). Automated simultaneous determination of ammonia and total

amino acids in ruminal fluid and in vitro media. *Journal of Dairy Science*, 63(1), 64–75.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)82888-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)82888-8)

- Bryant, T. C., Rivera, J. D., Galyean, M. L., Duff, G. C., Hallford, D. M., & Montgomery, T. H. (1999). Effects of dietary level of ruminally protected choline on performance and carcass characteristics of finishing beef steers and on growth and serum metabolites in lambs. *Journal of Animal Science*, 77(11), 2893–2903. <https://doi.org/10.2527/1999.77112893x>
- Cobos, M. A., Ley de Coss, A., Ramirez, N. D., Gonzalez, S. S., & Ferrera-Cerrato, R. (2011). *Pediococcus acidilactici* isolated from the rumen of lambs with rumen acidosis, 16S rRNA identification and sensibility to monensin and lasalocid. *Research in Veterinary Science*, 90(1), 26–30. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2010.05.006>
- De Veth, M. J., Artegoitia, M. A., Campagna, S. R., Lapierre, H., Harte, F., & Girard, C. L. (2016). Choline absorption and evaluation of bioavailability markers when supplementing choline to lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(12), 1–13. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11382>
- Dehority, B. A. (2003). Rumen microbiology: Rumen bacteria – History, methods of in vitro cultivation and discussion of mixed culture fermentation (pp. 157–176). Nottingham University Press.
- Holdorf, H. T., Brown, W. E., Combs, G. J., Henisz, S. J., Kendall, S. J., Caputo, M. J., Ruh, K. E., & White, H. M. (2023). Increasing the prepartum dose of rumen-protected choline: Effects of maternal choline supplementation on growth, feed efficiency, and metabolism in Holstein and Holstein×Angus calves. *Journal of Dairy Science*, 106(9), 6005–6027. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-23068>
- Hou, Q., Sun, X., Wu, T., Li, Z., Jonker, A., You, P., Li, R., Li, J., Tian, W., Li, C., Wang, C., He, Y., Rugoho, I., Cheng, L., & You, M. (2022). Supplementation of graded levels of rumen-protected choline to a pelleted total mixed ration did not improve the growth and slaughter performance of fattening lambs. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1034895. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1034895>
- Huang, B., Khan, M. Z., Kou, X., Chen, Y., Liang, H., Ullah, Q., Khan, N., Khan, A., Chai, W., & Wang, C. (2023). Enhancing metabolism and milk production performance in periparturient dairy cattle through rumen-protected methionine and choline supplementation. *Metabolites*, 13(10), 1080. <https://doi.org/10.3390/metabo13101080>
- Jin, Y., Li, H., & Wang, H. (2023). Dietary rumen-protected choline supplementation regulates blood biochemical profiles and urinary metabolome and improves growth performance of growing lambs. *Animal Biotechnology*, 34(3), 563–573. <https://doi.org/10.1080/10495398.2021.1984247>
- Kaler, J., Wassink, G. J., & Green, L. E. (2009). The inter- and intra-observer reliability of a locomotion scoring scale for sheep. *Veterinary Journal*, 180(2), 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.028>
- Kawas, J. R., Garcia-Mazcorro, J. F., Fimbres-Durazo, H., & Ortega-Cerrilla, M. E. (2020). Effects of rumen-protected choline on growth performance, carcass characteristics and blood lipid metabolites of feedlot lambs. *Animals*, 10(9), 1580. <https://doi.org/10.3390/ani10091580>
- Kenny, T. C., Scharenberg, S., Abu-Remaileh, M., & Birsoy, K. (2025). Cellular and organismal function of choline metabolism. *Nature Metabolism*, 7(1), 35–52. <https://doi.org/10.1038/s42255-024-01203-8>

- Lee, C., Hristov, A. N., Cassidy, T. W., Herley, K. S., Lapierre, H., Vargas, G. A., de Veth, M. J., Patton, R. A., & Parys, C. (2012). Rumen-protected lysine, methionine, and histidine increase milk protein yield in dairy cows fed a metabolizable protein deficient diet. *Journal of Dairy Science*, 95(10), 6042–6056. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5581>
- Ley-de Coss, A. C., Guerra-Medina, E., Chavez-Espinoza, M., Meraz-Romero, E., & Montañez-Valdez, O. D. (2024). Evaluation of herbal choline and chelated minerals on growth and ruminal bacteria in Katahdin rams. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 40(2), 353–361. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902024000200353>
- Li, H., Wang, H., Yu, L., Wang, M., Liu, S., Sun, L., & Chen, Q. (2015). Effects of supplementation of rumen-protected choline on growth performance, meat quality and gene expression in longissimus dorsi muscle of lambs. *Archives of Animal Nutrition*, 69(5), 340–350. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2015.1073001>
- Mendoza, G. D., Oviedo, M. F., Pinos, J. M., Lee, H. A., Vazquez, A., Flores, R., Perez, F., Roque, A., & Cifuentes, O. (2019). Milk production in dairy cows supplemented with herbal choline and methionine. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 52(1), 332–343. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/RFCA/article/view/3076>
- Mendoza-Martinez, G. D., Orzuna-Orzuna, J. F., Roque-Jimenez, J. A., Gloria-Trujillo, A., Martinez-Garcia, J. A., Sanchez-Lopez, N., Hernandez-Garcia, P. A., & Lee-Rangel, H. A. (2024). A polyherbal mixture with nutraceutical properties for ruminants: A meta-analysis and review of BioCholine powder. *Animals*, 14(5), 667. <https://doi.org/10.3390/ani14050667>
- NOM-062-ZOO. (1999). *Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999: Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio*. Diario Oficial de la Federación. <http://www.gob.mx/senasica/documentos>
- NRC. (2007). *Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and New World camelids*. The National Academies Press.
- Pinotti, L., Campagnoli, A., Sangalli, L., Rebutti, R., Dell'Orto, V., & Baldi, A. (2004). Metabolism in periparturient dairy cows fed rumen-protected choline. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 13(Suppl. 1), 551–554.
- Roque-Jimenez, J. A., Mendoza-Martinez, G. D., Vazquez-Valladolid, A., Guerrero-Gonzalez, M. L., Flores-Ramirez, R., Pinos-Rodriguez, J. M., Loo, J. J., Relling, A. E., & Lee-Rangel, H. A. (2020). Supplemental herbal choline increases 5-hmC DNA on whole blood from pregnant ewes and offspring. *Animals*, 10(8), 1277. <https://doi.org/10.3390/ani10081277>
- Russell, J. B., & Wilson, D. B. (1996). Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? *Journal of Dairy Science*, 79(8), 1503–1509. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76510-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76510-4)
- SAS Institute. (2011). *SAS® user's guide: Statistics (Release 9.3)*. SAS Institute Inc.
- Shahsavari, A., D'Occhio, M. J., & Al Jassim, R. (2016). The role of rumen-protected choline in hepatic function and performance of transition dairy cows. *British Journal of Nutrition*, 116(1), 35–44. <https://doi.org/10.1017/S0007114516001641>
- Suarez-Suarez, N. E., Lee-Rangel, H. A., Lizarazo-Chaparro, A. C., Mendoza-Martinez, G. D., Espinosa-Reyes, G., Hernandez-Garcia, P. A., Garcia-Lopez, J. C., Martinez-Garcia, J. A., Alvarez-Fuentes, G., & Roque-Jimenez, J. A. (2023). Effect of the supplementation using an herbal mixture as a choline source during early gestation in Rambouillet ewes. *Animals*, 13(4), 645.

<https://doi.org/10.3390/ani13040645>

- Supriyati, K., Budiarsana, I. G., Praharani, L., Krisnan, R., & Utama, I. K. (2016). Effect of choline chloride supplementation on milk production and milk composition of Etawah grade goats. *Journal of Animal Science and Technology*, 58, 30. <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0113-5>
- Yadav, S. (2024). Climatic classification of Köppen & Thornthwaite. Geographic Book, Quantum Minds Infotech Pvt. Ltd. <https://geographicbook.com/climatic-classification-of-koppen-thornthwaite/>