

Degradación *in situ* de semilla y aceite de girasol (*Helianthus annuus*)

In situ degradation of sunflower (*Helianthus annuus*) seed and oil

Nicolás Torres-Salado¹ , Paulino Sánchez-Santillán¹ , Marco Antonio Ayala-Monter¹ ,
Vicente Homero González-Álvarez¹ , Ricardo Martínez-Martínez² , Jerónimo Herrera-Pérez^{1*} 

¹Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2, Carretera Acapulco-Pinotepa Nacional km 197, Cuajinicuilapa, CP. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero. México.

²Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur. Av. Independencia Nacional 151. Centro, CP. 48900. Autlán de Navarro, Jalisco, México.

*Autor de correspondencia: mvzjero@hotmail.com

Artículo científico

Recibido: 20 de marzo 2024

Aceptado: 16 de septiembre 2025

RESUMEN. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de aceite (2 y 4%) y semilla de girasol (18%) sobre la degradabilidad *in situ* de la materia seca (DISMS), la fibra detergente neutro (DISFDN), la fibra detergente ácida (DISFDA) y el pH ruminal en ovinos. Se utilizó un diseño en cuadro latino 4 × 4 repetido, empleando cuatro borregos machos canulados (60 ± 3 kg PV). Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS y la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). La DISMS no presentó diferencias entre tratamientos durante las primeras 48 h de incubación; sin embargo, a las 72 h, la dieta con 4% de aceite de girasol (T4) mostró la mayor degradabilidad ($p < 0.05$). La DISFDN fue superior ($p < 0.05$) con la inclusión del 4% de aceite (T4), con incrementos de hasta 36.5% respecto al testigo. En contraste, la DISFDA fue menor ($p < 0.05$) con la dieta que incluyó semilla de girasol (T2) durante toda la prueba. El pH ruminal se mantuvo dentro de rangos fisiológicos y no mostró diferencias entre tratamientos ni tiempos ($p > 0.05$). En conclusión, tanto la semilla como el aceite de girasol modificaron la degradación de los componentes fibrosos, destacando el aceite al 4% como la opción más eficiente para mejorar la digestibilidad sin comprometer la estabilidad del ambiente ruminal.

Palabras clave: Fermentación, alimentación, ovinos, grasas, bacterias.

ABSTRACT. The aim of this study was to evaluate the effect of including sunflower oil (2 and 4%) and whole sunflower seed (18%) on the *in-situ* degradability of dry matter (ISDMD), neutral detergent fiber (ISNDFD), acid detergent fiber (ISADFD), and ruminal pH in sheep. A repeated 4 × 4 Latin square design was used, involving four rumen-cannulated male sheep (60 ± 3 kg BW). Data were analyzed using the GLM procedure in SAS, and treatment means were compared with Tukey's test ($p \leq 0.05$). No significant differences in ISDMD were observed among treatments during the first 48 h of incubation; however, at 72 h, the diet containing 4% sunflower oil (T4) showed the highest degradability ($p < 0.05$). The ISNDFD was significantly higher ($p < 0.05$) with the inclusion of 4% oil (T4), with increases of up to 36.5% compared to the control. In contrast, ISADFD was lower ($p < 0.05$) in the diet containing sunflower seed (T2) throughout the evaluation period. Ruminal pH remained within physiological ranges and did not differ among treatments or incubation times ($p > 0.05$). In conclusion, both sunflower seed and oil modified the degradation of fibrous components, with the 4% oil inclusion emerging as the most efficient strategy to enhance digestibility without compromising ruminal stability.

Keywords: Fermentation, feeding, sheep, fats, bacteria.

Como citar: Torres-Salado N, Sánchez-Santillán P, Ayala-Monter MA, González-Álvarez VH, Martínez-Martínez R, Herrera-Pérez J (2025) Degradación *in situ* de semilla y aceite de girasol (*Helianthus annuus*). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(3): e4082. DOI: 10.19136/era.a12n3.4082.

INTRODUCCIÓN

La eficiencia digestiva en rumiantes se define como la capacidad funcional del sistema gastrointestinal para asimilar los nutrientes estructurales y no estructurales presentes en la dieta, a través de procesos enzimáticos mediados por la microbiota ruminal (Harmon y Swanson 2020, Newbold y Ramos-Morales 2020). Este parámetro influye de forma directa en la tasa de pasaje, el tiempo de retención ruminal y la producción de metabolitos energéticos y nitrogenados, factores que condicionan el desempeño productivo del animal (de-Azevedo *et al.* 2021). En este contexto, la digestibilidad aparente de los alimentos constituye una herramienta fundamental para estimar su valor biológico y su pertinencia de inclusión. Este parámetro puede evaluarse mediante técnicas biológicas que simulan el proceso de fermentación ruminal. Entre ellas, destacan la digestión *in vitro* con microorganismos ruminales, el uso de enzimas exógenas y la incubación *in situ* de muestras en bolsas de nylon colocadas directamente en el rumen. Esta última técnica presenta la ventaja de describir la cinética de degradación de la materia seca (MS), la fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente ácida (FDA) (Krizsan *et al.* 2013, Rahmadani *et al.* 2023).

La inclusión de lípidos vegetales en dietas para rumiantes ha sido evaluada como estrategia para incrementar la densidad energética de la ración, modificar el patrón fermentativo y mejorar la respuesta productiva de los animales (Ibrahim *et al.* 2021, Hristov *et al.* 2022). Entre las principales fuentes se encuentra la semilla de girasol (*Helianthus annuus* L.), linaza (*Linum usitatissimum* L.), canola (*Brassica napus* L.) y camelina (*Camelina sativa* L.), cuya inclusión puede alcanzar hasta un 10% de la materia seca, sin comprometer la fermentación ruminal ni la digestibilidad de los nutrientes (Herrera-Pérez *et al.* 2018, Riaz *et al.* 2022).

En este sentido, la semilla de girasol, rica en ácido linoleico (18:2 ω 6), ha demostrado incrementar las concentraciones de ácidos grasos polinsaturados en leche y carne. Este efecto se atribuye a los procesos de biohidrogenación ruminal, que transforman los ácidos vaccénico (C18:1 *t*-11) y ruménico (C18:2 *t*-11) en compuestos intermedios de relevancia nutricional (Vieyra-Alberto *et al.* 2017, Paula *et al.* 2019). Por su parte, el aceite de girasol contiene cerca del 80% de ácidos grasos insaturados, considerado como una fuente lipídica de alto valor biológico (Herrera-Pérez *et al.* 2018, Crosby-Galván *et al.* 2022).

El efecto de los lípidos sobre la fermentación ruminal depende de su origen, nivel de inclusión y presentación física. Estos factores determinan la velocidad de liberación de los ácidos grasos, su interacción con la microbiota y la respuesta fermentativa resultante (Riaz *et al.* 2022, Rakita *et al.* 2023). En este contexto, tanto el NRC (2007) como el FEDNA (2019) recomiendan no superar un 7% de grasa total en dietas totalmente mezcladas, ya que concentraciones superiores pueden inhibir la actividad de bacterias celulolíticas y reducir la digestibilidad de la fibra.

Para mitigar estos posibles efectos negativos, se ha propuesto el uso de semillas enteras o parcialmente procesadas, ya que su liberación lenta de lípidos en el rumen favorece la adaptación de la microbiota y reduce las perturbaciones en el ecosistema ruminal (Sainz-Ramírez *et al.* 2021, Santos-Silva *et al.* 2022). No obstante, persisten vacíos en la literatura respecto a la comparación directa entre el uso de aceite y semilla de girasol en dietas para ovinos. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar la degradación *in situ* de la materia seca y la fibra detergente

neutro, así como el pH ruminal, en dietas que incluyeron aceite o semilla de girasol como fuente de lípidos en ovinos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se realizó en la Unidad Metabólica y en el Laboratorio de Nutrición Animal del Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad - Ganadería, del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Ubicado en el kilómetro 36.5 de la carretera México-Texcoco, en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Tratamientos experimentales

Las dietas experimentales (Tabla 1) se formularon en base seca (BS) para ovinos en engorda de acuerdo con las recomendaciones del NRC (2007). Todos los ingredientes fueron molidos antes de la mezcla: los granos se procesaron con criba de 0.5 cm y los forrajes con criba de 2.5 cm, utilizando un molino de martillo (Veyco®, serie MMV-MX).

Tabla 1. Composición nutricional de las dietas experimentales (% MS)

Ingrediente	T1	T2	T3	T4
Alfalfa, %	12	8	12	12
Maíz grano, %	55	52	55	53
Rastrojo de maíz, %	15	12	13	13
Pasta de soya, %	10	0	10	10
Semilla de girasol, %	0	18	0	0
Aceite de girasol, %	0	0	2	4
Salvado de trigo, %	6	8	6	6
Premezcla mineral, %	2	2	2	2
Composición química				
Materia seca, %	95.22	94.73	93.77	95.93
Proteína cruda, %	14.12	14.65	14.08	13.99
Extracto etéreo, %	4.01	3.70	3.85	4.12
Fibra detergente neutro, %	34.20	30.74	31.29	29.77
Fibra detergente ácida, %	22.28	20.35	20.06	19.08
Cenizas, %	5.93	6.72	5.91	6.21

T1: dieta testigo; T2: dieta con 18% de semilla de girasol completa. T3: dieta con 2% de aceite de girasol. T4: dieta con 4% de aceite de girasol.

Análisis bromatológicos

Las muestras de las dietas experimentales se molieron en un molino Thomas Willey (Thomas Scientific, EE.UU) con criba de 1 mm. Posteriormente, se les determinó el contenido de materia seca (MS), proteína total (PT), cenizas (Ce) y extracto etéreo (EE) de acuerdo con los métodos descritos por la AOAC (2005). La fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente ácida (FDA) se

cuantificaron mediante un analizador de fibras ANKOM 200/220 (ANKOM Technology, EE.UU), siguiendo la metodología propuesta por Van Soest *et al.* (1991).

Prueba metabólica

Se utilizaron cuatro borregos con peso vivo promedio de 60 ± 3 kg, equipados con cánula ruminal permanente y alojados en jaulas metabólicas individuales. Los animales recibieron alimentación dos veces al día (07:00 y 19:00 h) y contaron con acceso libre al agua. La fase de adaptación a las dietas tuvo una duración de 10 días. El manejo de los animales se realizó conforme al Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación del Colegio de Postgraduados (CP, 2016). Al inicio del experimento, los borregos fueron desparasitados con ivermectina al 1% (200 μ g/kg de peso vivo) y suplementados con Vigantol ADE® (2 mL por borrego). El experimento tuvo una duración total de 112 días, distribuidos en ocho periodos de 14 días. Cada periodo incluyó 10 días de adaptación y 4 días de muestreo.

Degradación *in situ* de la MS, FDN y FDA

Durante los cuatro días de muestreo de cada periodo experimental, se determinó la degradación *in situ* de la materia seca (DISMS), de la fibra detergente neutro (DISFDN) y de la fibra detergente ácida (DISFDA) para cada tratamiento. Se utilizaron bolsas ANKOM® F57, previamente secadas a peso constante en estufa de aire forzado (Riosa® EC-7, México) a 60 °C durante 24 h. Posteriormente, las bolsas fueron estabilizadas en un desecador por 6 h, pesadas (balanza Ohaus®) e identificadas.

A cada bolsa se le colocaron 0.5 g de muestra y se selló mediante calor con una selladora eléctrica. Se prepararon 96 bolsas por periodo experimental (24 por animal), considerando dos réplicas con muestra y un blanco por cada tiempo de incubación, para cada tratamiento. Antes de la incubación, las bolsas se hidrataron en agua a 39 °C durante 5 minutos, con el objetivo de eliminar la fracción soluble adherida al material del filtro. Las bolsas se introdujeron en redes de nailon e incubaron en el rumen antes del suministro matutino de alimento. La incubación se realizó en orden inverso a los tiempos programados: 72, 48, 24, 12, 9, 6 y 3 h. Las bolsas de tiempo cero se utilizaron para determinar la fracción soluble de la dieta.

Después del tiempo correspondiente de incubación, las bolsas fueron retiradas del rumen y lavadas con agua corriente hasta eliminar los residuos visibles. Luego se secaron a temperatura ambiente durante 12 h y se colocaron en estufa (Riosa® EC-7) a 60 °C por 48 h. Posteriormente se pesaron para calcular la DISMS por diferencia de peso, según el método de la AOAC (2005). La DISFDN y DISFDA residual se determinaron utilizando el analizador de fibras ANKOM®. Además, se calculó la tasa de digestión (kd; %/h) de la materia seca mediante regresión lineal del logaritmo natural del residuo contra el tiempo de incubación. El valor absoluto de la pendiente fue considerado como kd (Cañaveral-Martínez *et al.* 2023).

pH ruminal

Durante cada periodo experimental, se recolectaron 50 mL de líquido ruminal por cada horario de incubación. Las muestras fueron filtradas a través de cuatro capas de gasa para eliminar partículas

sólidas. Posteriormente, se determinó el pH utilizando un potenciómetro portátil (Orion® 210, EE. UU.).

Diseño experimental y análisis estadístico

Para verificar la normalidad y homogeneidad de varianzas de las variables evaluadas, se aplicaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. El diseño experimental correspondió a un Cuadro Latino 4 × 4 repetido. Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM del software SAS® (versión 9.3; SAS Institute Inc., 2011). La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey, considerando diferencias significativas cuando $p \leq 0.05$

RESULTADOS

La degradación *in situ* de la materia seca no presentó diferencias ($p > 0.05$) entre los tratamientos con aceite (T3 y T4) o semilla de girasol (T2) respecto al testigo (T1), durante las primeras 48 h de incubación ruminal (Tabla 2). No obstante, a las 72 h de fermentación, la inclusión de 4% de aceite de girasol (T4) mejoró ($p < 0.05$) la DISMS en comparación con los tratamientos que incluyeron 2% de aceite (T3) o semilla de girasol (T2). Sin embargo, este valor supera en cuatro unidades porcentuales al testigo (T1), pero sin diferencias estadísticas entre tratamientos ($p > 0.05$). Con relación a la tasa de degradación de la materia seca (kd; %/h) no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos ($p > 0.05$).

Tabla 2. Degradabilidad *in situ* de la materia seca de las dietas experimentales en función del tiempo de incubación (%).

H	T1	T2	T3	T4	EEM
3	19.73	18.03	19.20	18.46	1.42
6	22.45	23.51	25.31	25.22	1.66
9	29.16	29.13	26.91	30.72	2.49
12	28.34	26.66	31.61	30.27	1.74
24	42.46	37.97	41.43	44.25	1.68
48	52.05	53.36	52.03	60.17	2.35
72	60.10 ^{ab}	56.01 ^b	58.76 ^b	64.39 ^a	1.00
Kd % h ⁻¹	5.65	6.19	5.67	6.37	

^{a, b, c.} Hileras con diferente literal son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$). H: tiempo de incubación; T1: dieta testigo; T2: dieta con 18% de semilla de girasol completa. T3: dieta con 2% de aceite de girasol. T4: dieta con 4% de aceite de girasol. EEM: error estándar de la media.

La inclusión de aceite de girasol en la dieta T4 presentó la mayor degradación *in situ* de la fibra detergente neutro (FDN) en todos los tiempos medidos (3 a 72 h; Tabla 3). A las 72 h de incubación ruminal, se observaron diferencias evidentes entre tratamientos ($p < 0.05$). La inclusión de 4% de aceite de girasol (T4) presentó la mayor DISFDN, superando en 36.5, 21.0 y 18.2% a las dietas T1, T2 y T3, respectivamente. La dieta testigo (T1) mostró la menor degradación, mientras que la

inclusión de semilla (T2) y aceite al 2% (T3) mejoraron la DISFDN respecto al testigo, aunque sin diferenciarse entre sí ($p > 0.05$).

Tabla 3. Degradabilidad *in situ* de la fibra detergente neutro de las dietas experimentales en función del tiempo de incubación (%).

H	T1	T2	T3	T4	EEM
3	30.54 ^c	35.57 ^b	34.34 ^b	38.58 ^a	0.72
6	29.83 ^c	35.51 ^b	34.77 ^b	39.91 ^a	0.63
9	30.89 ^b	39.44 ^a	35.28 ^{ab}	40.59 ^a	2.00
12	31.02 ^c	36.7 ^{ab}	35.29 ^b	40.91 ^a	1.02
24	32.22 ^c	35.30 ^{bc}	36.40 ^b	40.78 ^a	0.96
48	32.59 ^c	38.44 ^b	37.12 ^b	42.98 ^a	0.76
72	32.42 ^c	36.49 ^b	37.42 ^b	44.27 ^a	0.64

a, b, c. Hileras con diferente literal son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$); H: tiempo de incubación; T1: dieta testigo; T2: dieta con 18% de semilla de girasol completa. T3: dieta con 2% de aceite de girasol. T4: dieta con 4% de aceite de girasol. EEM: error estándar de la media.

Por otro lado, la degradación *in situ* de la fibra detergente ácida (Tabla 4) en las primeras horas de incubación (3, 6, 9 y 12 h), el tratamiento testigo (T1) registró los valores más altos de degradabilidad, mientras que la inclusión de semilla de girasol (T2) mostró consistentemente las menores tasas de degradación ($p < 0.05$). A las 72 h, T2 alcanzó un valor de 22.17%, lo que representa una reducción del 31.3% en comparación con T1, del 26.5% respecto a T3 y del 34.9% frente a T4. Por el contrario, los tratamientos T1, T3 y T4 no mostraron diferencias entre sí en ninguno de los tiempos a partir de las 24 h ($p > 0.05$).

Tabla 4. Degradabilidad *in situ* de la fibra detergente ácida de las dietas experimentales en función del tiempo de incubación (%).

H	T1	T2	T3	T4	EEM
3	20.64 ^a	8.79 ^c	15.46 ^b	18.32 ^{ab}	1.22
6	21.61 ^a	10.07 ^c	14.47 ^b	21.12 ^a	0.99
9	24.65 ^a	13.99 ^c	19.33 ^b	22.92 ^{ab}	1.17
12	24.62 ^a	11.93 ^c	18.36 ^b	23.37 ^a	0.92
24	27.31 ^a	15.51 ^b	25.52 ^{ab}	27.92 ^a	1.23
48	30.07 ^a	20.24 ^b	27.15 ^a	30.43 ^a	1.00
72	32.26 ^a	22.17 ^b	30.17 ^a	34.05 ^a	0.75

a, b, c. Hileras con diferente literal son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$); H: tiempo de incubación; T1: dieta testigo; T2: dieta con 18% de semilla de girasol completa. T3: dieta con 2% de aceite de girasol. T4: dieta con 4% de aceite de girasol. EEM: error estándar de la media.

El pH ruminal no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos ni entre tiempos de incubación evaluados (Tabla 5). Los valores registrados oscilaron entre un pH mínimo de 5.90 y un máximo de 6.83 durante todo el periodo experimental.

Tabla 5. Valores de pH durante la degradabilidad *in situ* de las dietas experimentales en función del tiempo de incubación.

H	T1	T2	T3	T4	EEM
3	6.24	5.98	6.01	6.08	0.060
6	5.90	5.92	5.96	6.01	0.057
9	6.23	6.26	6.24	5.98	0.067
12	6.33	6.44	6.21	6.41	0.064
24	6.71	6.75	6.41	6.60	0.060
48	6.66	6.83	6.71	6.76	0.059
72	6.70	6.74	6.68	6.72	0.061

a. b. c. Hileras con diferente literal son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$); H: tiempo de incubación; T1: dieta testigo; T2: dieta con 18% de semilla de girasol completa. T3: dieta con 2% de aceite de girasol. T4: dieta con 4% de aceite de girasol. EEM: error estándar de la media.

DISCUSIÓN

Las relaciones simbióticas establecen que el microbioma ruminal frente a diferentes sustratos (Ibrahim *et al.* 2021). En este contexto, los ácidos grasos insaturados, como los presentes en el aceite de girasol ($\approx 80\%$), son rápidamente biohidrogenados a formas saturadas por bacterias como *Anaerovibrio lipolytica*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Butyrivibrio proteoclasticus*, *Ruminococcus albus* y *Megasphaera elsdenii*, las cuales poseen una capacidad de adaptación progresiva a la presencia de lípidos (Salami *et al.* 2021, Renna *et al.* 2022). En condiciones *in situ*, la respuesta microbiana frente a los lípidos dependen no solo de su concentración y grado de insaturación, sino también del tiempo de exposición a estos compuestos (DeFeo *et al.* 2020, García-Balbuena *et al.* 2022). Este fenómeno explicaría el efecto positivo sobre la degradabilidad *in situ* de la materia seca observada a las 72 h en el tratamiento con 4% de aceite de girasol (T4, Tabla 2) ya que un mayor tiempo de exposición favoreció la eficiencia metabólica de estas familias bacterianas.

Estudios previos han reportado efectos similares sobre la inclusión de semillas de oleaginosas sobre la digestibilidad aparente de la materia seca en rumiantes. Beauchemin *et al.* (2009) documentaron reducciones del 20% y 10% en la digestibilidad de la MS con la inclusión de semilla de girasol (100.55 g kg^{-1}) y linaza (90.32 g kg^{-1}) respectivamente. Al respecto, De-Tonissi *et al.* (2010) en pruebas *in situ*, observaron que la semilla de girasol presentó menor digestibilidad de la MS a las 72 h (33.6%), en comparación con crambe y soya. Estos hallazgos coinciden con lo observado en el presente estudio, donde la inclusión de semilla mostró menor degradabilidad frente al aceite, especialmente en tiempos prolongados de fermentación. Al respecto, Beauchemin *et al.* (2022) y Riaz *et al.* (2022) coinciden en que los efectos sobre la digestibilidad de la MS, consumo y el perfil de fermentación ruminal están sujetos a características propias del aceite y dieta. Por otro lado, Pitta *et al.* (2018) documentaron que concentraciones elevadas de ácidos grasos saturados pueden ejercer efectos perjudiciales sobre algunas familias bacterianas y protozoarios del rumen. Aunque en el presente estudio no se cuantificaron las poblaciones de protozoarios, se reconoce que estos organismos presentan dos comportamientos clave frente a los lípidos: por un lado, su habilidad de

consumirlos, pero su limitada capacidad lipolítica, lo que puede inducir daño celular; por otro lado, ejercen una alta predación sobre bacterias celulolíticas, lo que reduce la eficiencia fermentativa (Ibrahim *et al.* 2021, Beauchemin *et al.* 2022).

En este contexto, una disminución en la población de protozoarios favorecería la actividad de las bacterias fibrolíticas, incrementando la degradación de la fibra (Cao *et al.* 2021, Zhang *et al.* 2024). Esta hipótesis se alinea con los resultados del presente estudio, en el cual se observó una mayor DISFDN en los tratamientos con semilla o aceite (T2, T3 y T4) en comparación con el testigo (T1; Tabla 3). También, Ítavo *et al.* (2015) señalaron que elevadas concentraciones de fibra contenidas en semillas enteras de oleaginosas afectan negativamente la digestibilidad de componentes estructurales como la celulosa, hemicelulosa y lignina. Esta limitación se traduce en una menor degradación de la materia seca, la fibra detergente neutro y la fibra detergente ácida. Lo anterior concuerda con los resultados del presente estudio, en el cual la dieta que incluyó 18% de semilla de girasol presentó la menor degradabilidad *in situ* de la FDA, lo que implica una reducción en el potencial energético de la semilla entera para los rumiantes. En este contexto, el efecto de las semillas enteras en dietas para rumiantes está condicionado por diversos factores, entre ellos el tipo de semilla, el grado de procesamiento, la interacción con otros componentes de la dieta y la metodología empleada para evaluar la digestibilidad (Krizsan *et al.* 2013).

A pesar de estas interacciones, el pH ruminal se mantuvo dentro de rangos fisiológicos adecuados en todos los tratamientos (Tabla 5), lo que indica que la inclusión de aceite o semilla de girasol no comprometió el ambiente ruminal. Este hallazgo concuerda con lo reportado por Ibrahim *et al.* (2021) quienes evaluaron suplementos vegetales en la fermentación ruminal y observaron un rango de pH compatible con una actividad microbiana estable, incluso en dietas altas en carbohidratos solubles.

CONCLUSIONES

La inclusión de aceite o semilla de girasol en dietas para ovinos moduló de forma diferencial la degradabilidad *in situ* de los componentes fibrosos, sin comprometer la estabilidad del pH ruminal. La adición de 4% de aceite de girasol (T4) promovió una mayor DISMS y DISFDN, particularmente a las 72 h. En contraste, la dieta con 18% de semilla de girasol (T2) mostró una menor DISFDA, atribuida al alto contenido de fibra de la semilla entera. Estos hallazgos evidencian que el tipo y forma de inclusión lipídica condicionan la eficiencia fermentativa ruminal, siendo el aceite de girasol una estrategia favorable para mejorar la digestibilidad de la fibra sin alterar la homeostasis del ecosistema ruminal.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados campus montecillo por el soporte técnico y al cuerpo académico UAGRO-CA-183 producción sustentable de rumiantes en el trópico, por el apoyo en el desarrollo de la investigación.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- AOAC (2005) Official Methods of Analysis of AOAC International. 2005. 18th Ed., AOAC International, Gaithersburg, MD, USA, Official Method. 125p.
- Beauchemin KA, McGinn SM, Benchaar C, Holtshausen L (2009) Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: Effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. *Journal of Dairy Science* 92(5): 2118-2127. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1903>
- Beauchemin KA, Ungerfeld EM, Abdalla AL, Alvarez C, Arndt C, Becquet P, Benchaar C, Berndt A, Mauricio RM, McAllister TA, Oyhantçabal W, Salami SA, Shalloo L, Sun Y, Tricarico J, Uwizye A, Camillis C, Bernoux M, Robinson T, Kebreab E (2022) Revisión por invitación: Opciones actuales de mitigación del metano entérico. *Journal of Dairy Science* 105: 1-30. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22091>
- Cañaveral-Martínez UR, Sánchez-Santillán P, Torres-Salado N, Hernández-Sánchez D, Herrera-Pérez J, and Ayala-Monter MA (2023) Effect of waste mango silage on the in vitro gas production, *in situ* digestibility, intake, apparent digestibility, and ruminal characteristics in calf diets. *Veterinary World* 16(3): 421-430.
- Cao Y, Wang D, Wang L, Wei X, Li X, Cai C, Lei X, Yao J (2021) Physically effective neutral detergent fiber improves chewing activity, rumen fermentation, plasma metabolites, and milk production in lactating dairy cows fed a high-concentrate diet. *Journal Dairy Science* 104(5): 5631-5642. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19012>
- Crosby-Galván MM, Torres-Salado N, Sánchez-Santillán P, Salinas-Ríos T, Ayala Monter MA, Herrera-Pérez J (2022) Effect of sunflower oil (*Helianthus annuus*) on *in vitro* ruminal fermentation and emission of gases. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i7.2327>
- De-Azevedo EB, Savian JV, do Amaral GA, de David DB, Gere JI, Kohmann MM, Bremm C, Jochims F, Zubietta AS, Gonda HL, Bayer C, de Faccio Carvalho PC (2021) Feed intake, methane yield, and efficiency of utilization of energy and nitrogen by sheep fed tropical grasses. *Tropical Animal Health and Production* 53(5): 452. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02928-4>
- De-Tonissi RH, De Goes B, De Souza KA, Patussi RA, Cornelio TDC, De Oliveira ER, Brabes KDC (2010) *In situ* ruminal degradability of crambe, sunflower and soybean seeds and their by-products in sheep feeding, *Acta Scientiarum Animal Sciences* 32(3): 271-277. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v32i3.7913>
- DeFeo ME, Shampoe KV, Carvalho PHV, Silva FAS, Felix TL (2020) *In vitro* and *in situ* techniques yield different estimates of ruminal disappearance of barley *Translational Animal Science* 4(1): 141-148. <https://doi.org/10.1093/tas/txz170>
- FEDNA (2019) Composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Cuarta edi. 604p.
- García Balbuena A, Torres-Salado N, Herrera-Pérez J, Maldonado-Peralta MD los Angeles, Mayren-Mendoza FDJ, Mendoza-Medel G (2022) Producción de gas *in vitro* y respuesta productiva de becerras alimentadas con una dieta integral que contiene pasta de ajonjolí (*Sesamun indicum*) como fuente de proteica *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 25. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4155>
- Harmon DL, Swanson KC (2020) Review: Nutritional regulation of intestinal starch and protein assimilation in ruminants *Animal* 14(S1): s17-s28. <https://doi.org/10.1017/s1751731119003136>

- Herrera-Pérez J, Crosby-Galván MM, Bárcena-Gama JR, Hernández-Sánchez D, Hernández-Mendo O, Torres-Salado N, Cruz-Monterrosa RG (2018) Fermentación ruminal y emisión de gases *in vitro* de dietas con diferente inclusión de semilla de girasol (*Helianthus annuus*). *Agrociencia* 52(8): 1071-1080.
- Hristov AN, Melgar A, Wasson D, Arndt C (2022) Symposium review: Effective nutritional strategies to mitigate enteric methane in dairy cattle. *Journal Dairy Science* 105(10): 8543-8557. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21398>
- Ibrahim NA, Alimon AR, Yaakub H, Samsudin AA, Candyryne SCL, Wan Mohamed WN, Md Noh A, Fuat MA, Mookiah S (2021) Effects of vegetable oil supplementation on rumen fermentation and microbial population in ruminant: a review. *Tropical Animal Health and Production* 53(4): 422. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02863-4>
- Ítavo LCV, Soares CM, Ítavo CCBF, Días AM, Petit HV, Leal ES, De Souza ADV (2015) Calorimetry, chemical composition and in vitro digestibility of oilseeds, *Food Chemistry* 185: 219-225. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.007>
- Krizsan SJ, Jančík F, Ramin M, Huhtanen P (2013) Comparison of some aspects of the *in situ* and *in vitro* methods in evaluation of neutral detergent fiber digestion. *Journal Animal Science* 91(2): 838-847. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5343>
- Newbold CJ, Ramos-Morales E (2020) Review: Ruminal microbiome and microbial metabolome: effects of diet and ruminant host. *Animal* 14(S1): s78-s86. <https://doi.org/10.1017/s1751731119003252>
- NRC (2007) Requirements of small ruminants, sheep, goats, cervids and new world Camelids. National Research Council Nutrient. The National Academics Press. Washington, D.C. USA. 362p.
- Paula EM, da Silva LG, Brandao VLN, Dai X, Faciola AP (2019) Feeding canola, camelina, and carinata meals to ruminants. *Animals*, 9(10), 704. <https://doi.org/10.3390/ani9100704>
- Pitta, D. W., Indugu, N., Vecchiarelli, B., Rico, D. E., Harvatine, K. J (2018) Alterations in ruminal bacterial populations at induction and recovery from diet-induced milk fat depression in dairy cows. *Journal of dairy science* 101(1): 295-309. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12514>
- Rahmadani M, Susanto I, Prasetya RDD, Kondo M, Nahrowi N, Jayanegara A (2023) Modification of dietary rumen degradable starch content by chemical processing of feed ingredients: A meta-analysis. *Animal Science Journal* 94(1): e13834. <https://doi.org/10.1111/asj.13834>
- Rakita S, Kokić B, Manoni M, Mazzoleni S, Lin P, Luciano A, Ottoboni M, Cheli F, Pinotti L (2023) Cold-pressed oilseed cakes as alternative and sustainable feed ingredients: A review. *Foods* 12(3). <https://doi.org/10.3390/foods12030432>
- Renna M, Coppa M, Lussiana C, Le Morvan A, Gasco L, Maxin G (2022) Full-fat insect meals in ruminant nutrition: in vitro rumen fermentation characteristics and lipid biohydrogenation. *Journal Animal Science Biotechnol* 13(1): 138. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00792-2>
- Riaz R, Ahmed I, Sizmaz O, Ahsan U (2022) Use of *Camelina sativa* and by-products in diets for dairy cows: A review. *Animals* 12(9). <https://doi.org/10.3390/ani12091082>
- Rotger A, Ferret A, Calsamiglia S, Manteca X (2006) *In situ* degradability of seven plant protein supplements in heifers fed high concentrate diets with different forage to concentrate ratio. *Animal Feed Science and Technology* 125(1-2): 73-87. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2005.05.017>
- Sainz-Ramírez A, Velarde-Guillén J, Estrada-Flores JG, Arriaga-Jordán CM (2021) Productive, economic, and environmental effects of sunflower (*Helianthus annuus*) silage for dairy cows in small-scale systems in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 53(2): 256. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02708-0>
- Salami SA, Valenti B, Luciano G, Lanza M, Umezurike-Amahah NM, Kerry JP, O'Grady MN, Newbold CJ, Priolo A (2021) Dietary cardoon meal modulates rumen biohydrogenation and bacterial community in lambs. *Scientific Reports* 11(1): 16180. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95691-3>

- Santos-Silva J, Francisco A, Portugal AP, Paulos K, Dentinho MT, Almeida JM, Regedor L, Fialho L, Cachucho L, Jerónimo E, Alves SP, Bessa RJB (2022) Effects of partial substitution of grain by agroindustrial byproducts and sunflower seed supplementation in beef haylage-based finisher diets on growth, in vitro methane production and carcass and meat quality. *Meat Science* 188: 108782. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108782>
- SAS (2011) Statistical Analysis System, SAS, User's Guide: SAS Inst., Cary, NC. pp: 3154-3339.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74(10): 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vieyra-Alberto R, Arriaga-Jordán CM, Domínguez-Vara IA, Bórquez-Gastelum JL, Morales-Almaráz E (201) Efecto del aceite de soya sobre la concentración de los ácidos grasos vaccénico y ruménico en leche de vacas en pastoreo. *Agrociencia* 51(3): 299-313.
- Zhang Z, Wang L, Li Q, Li F, Ma Z, Li F, Wang Z., Chen L, Yang X, Wang X, Yang G (2024) Effects of dietary forage neutral detergent fiber and rumen degradable starch ratios on chewing activity, ruminal fermentation, ruminal microbes and nutrient digestibility of Hu sheep fed a pelleted total mixed ration. *Journal Anim Science* 102. <https://doi.org/10.1093/jas/skae100>