

# Palatabilidad de cuatro cereales utilizados para alimentar corderos

Palatability of four cereals used to feed lambs

Daniel González-González<sup>1,2</sup> , Reyes Vazquez<sup>1</sup> , Virginio Aguirre<sup>1</sup> ,  
Mariana Pedernera<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad No. 1001, Col. Chamilpa, 62209, Cuernavaca, Morelos, México.

<sup>2</sup>INIFAP, Campo Experimental Valle de Culiacán, Carretera Culiacán-Eldorado Km 17.5, Col. Ejido Canan, 80398, Culiacán, Sinaloa, México.

\*Autor para correspondencia: pedermera@uaem.mx

## Fecha de recepción:

16 de diciembre de 2023

## Fecha de aceptación:

27 de noviembre de 2024

## Disponible en línea:

26 de febrero de 2025

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-

NoComercial-

CompartirIgual 4.0

Internacional

(CC BY-NC-SA 4.0)

## RESUMEN

La palatabilidad de los alimentos es variable y es afectada por diferentes factores. Por tanto, el objetivo fue evaluar la palatabilidad del grano de maíz amarillo, cebada, sorgo rojo y sorgo marrón en corderos. En ocho corderos se realizaron pruebas de palatabilidad de dos y cuatro opciones. Se midió la ingesta y preferencia del grano. Se utilizó un modelo lineal mixto donde el factor fijo fue: tipo de grano, día y su interacción; el factor aleatorio fue el cordero. Se demostró que el consumo y preferencia del maíz amarillo, cebada y sorgo es similar en la prueba de dos opciones, excepto por la preferencia del sorgo marrón que fue mayor que la cebada. En las cuatro opciones el consumo y preferencia fue menor en el sorgo marrón. Las diferencias en consumo de los cereales podrían estar relacionadas a la digestibilidad de los cereales y su combinación.

## PALABRAS CLAVE

Maíz, cebada, sorgo, taninos, ingesta voluntaria.

## ABSTRACT

The palatability of feeds is variable and is affected by different factors. Therefore, the aim was to evaluate the palatability of yellow corn, barley, red sorghum and brown sorghum grain in lambs. Palatability tests of two and four way-choice were carried out on eight lambs. Grain intake and preference were measured. A linear mixed model was used where the fixed factor was: type of grain, day and their interaction; the random factor was the lamb. It was shown that the intake and preference of yellow corn, barley and sorghums were similar in the two-way choice, except for the preference for brown sorghum that was greater than barley. In the four options, consumption and preference was lower in brown sorghum. The differences in cereal consumption could be related to the digestibility of the cereals and their combination.

## KEYWORDS

Corn, barley, sorghum, tannins, voluntary intake.

## INTRODUCCIÓN

Las especies de cereales como el maíz amarillo, la cebada, el sorgo, la avena y el trigo se utilizan ampliamente en las raciones para rumiantes principalmente por su alta fuente de energía en forma de almidón, siendo incluidos entre el 65% y el 85% en las raciones de finalización. Además, los cereales contribuyen al componente proteico de la ración; sin embargo, la palatabilidad a los cereales en los animales puede ser variable. El consumo voluntario de diferentes alimentos por parte de los rumiantes es complejo y se ve afectado por diferentes factores como la composición química, características físicas, efectos postingestivos, experiencia y comportamiento social (Forbes y Provenza, 2000).

Los efectos postingestivos están relacionados con la composición de nutrientes del alimento que incluye principalmente el contenido de proteína, hidratos de carbono y minerales (Provenza, 1995), con los metabolitos secundarios de las plantas como los polifenoles (flavonoides, terpenos, alcaloides, oxalatos, saponinas y taninos) que se encuentran en el pericarpio de los granos (Frutos et al., 2004), y con la digestibilidad de la materia orgánica (Cervantes-Pahm et al., 2013; Horadagoda et al., 2008). A pesar de que los granos de cereales contienen similar contenido de energía, las diferencias en los efectos postingestivos pueden afectar la preferencia de los animales, y, por tanto, la selección que un animal hace de los cereales disponibles en una ración (Provenza, 1995). Además, los granos contienen metabolitos secundarios, por ejemplo: los taninos. Un alto contenido de taninos que se ha correlacionado con una reducción en el consumo de alimento debido a que afecta la palatabilidad del alimento, adjudicado a la sensación astringente, y provoca el desarrollo de aversiones condicionadas, ya que están asociados con plantas tóxicas (Provenza, 1995). A su vez, los taninos pueden alterar la digestibilidad del alimento y se ha reportado que una concentración superior a 50 g/kg MS de taninos condensados reduce el consumo voluntario de alimento (Frutos et al., 2004). Por otro lado, el grado de fermentación de los granos, que está relacionado con el contenido de almidón, también podría afectar la ingesta ya que cambia la concentración de ácidos grasos volátiles (Villalba y Provenza, 1997). Por ejemplo, hay granos de fermentación rápida como la

cebada y granos de fermentación lenta como el maíz y el sorgo, que también pueden afectar el pH ruminal y la preferencia de grano por parte del animal (Forbes y Provenza, 2000).

El sorgo es uno de los cereales forrajeros más importantes utilizados en la dieta del ganado debido a su composición nutricional y disponibilidad en algunos países. Se han desarrollado muchas variedades para maximizar el rendimiento del cultivo de sorgo, donde la principal diferencia es el tipo de pericarpio con diferente contenido de polifenoles y taninos, componentes que protegen el grano de enfermedades y le dan un sabor amargo que reduce la depredación por parte de las aves (Xiong et al., 2019). La cebada es otro grano que presenta buenas características nutricionales para la alimentación de rumiantes. Tiene alta concentración de energía, proteínas y fibra, pero tiene almidón rápidamente fermentable que puede producir acidosis y la concentración de taninos condensados es diferente dependiendo de la variedad de grano (Nikkhah, 2012). El grano de maíz amarillo también es muy utilizado en las raciones de rumiantes por su concentración nutricional, ya que este grano en general tiene buena aceptación por los animales, tiene buena digestibilidad y no presenta alta concentración de taninos. El contenido de sorgo y almidón de maíz amarillo podría alterar la digestión ruminal y descomponerse en el intestino delgado produciendo acidosis intestinal. Por lo tanto, se planteó la hipótesis que la preferencia de estos 3 cereales es diferente en relación con su contenido de nutrientes y efectos postingestivos. El objetivo del trabajo fue evaluar la palatabilidad del maíz, la cebada y dos tipos de sorgo en corderos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. El experimento fue aprobado por el Comité Interno de Bioética en Investigación Animal de la Universidad (número de aprobación: 2-2022).

### Manejo de animales

Para el experimento se utilizaron ocho corderos Katahdin, 5 hembras y 3 machos, con una edad de 2 meses

± 5 días de edad y un peso corporal promedio de 16.0 ± 0.91 kg. Previo al experimento, los animales fueron dosificados por vía oral con un antiparasitario de amplio espectro (Albendagort 10% CS®, Gortie Pharma, Zapopan, México) a la dosis especificada por el fabricante. Durante el experimento; los corderos se alojaron en corrales individuales (2 m<sup>2</sup>/animal) sobre piso de concreto y con techo de lámina galvanizada. Los corrales permitían el contacto visual con los demás animales. Durante el experimento a todos los animales se les ofreció una ración de mantenimiento desde las 8:15 a 18:00 h. La ración se compuso de 100 g de forraje seco de alfalfa (*Medicago sativa* L.), 200 g de forraje seco de Pasto Guinea Tanzania [*Megathyrsus maximus* (Jacq. B.K. Simon & S.W.L. Jacobs)] y 200 g de concentrado comercial (Nu-3®, Grupo Nu3, La Piedad, México). El experimento tuvo una duración de 25 días y se dividió en tres periodos que se describen a continuación.

### Periodo de adaptación

El objetivo de este período fue adaptar a los corderos al consumo de los granos utilizados en la prueba de preferencia (textura, sabor y efectos postingestivos). Los granos utilizados fueron cebada, maíz amarillo, sorgo rojo (SR) y sorgo marrón (SM), adquiridos de una forrajera de la región. Los granos fueron cosechados en enero-febrero y se almacenaron de acuerdo con los requerimientos sanitarios para el manejo de granos y semillas para alimento de animales. Todos los granos fueron quebrados para tener un tamaño de partícula similar de 0.3 a 0.4 cm. Una vez al día se ofrecieron 200 g de un grano en un comedero individual durante 15 min por la mañana (8:00 h). Pasado este tiempo, se retiró el recipiente y se pesó el residuo del grano para calcular la ingesta. Cuando todos los corderos comieron 100 g o más, se cambió el grano, y se realizaba la misma metodología hasta ofrecer los cuatro granos. Durante la familiarización, se calculó la ingesta de la dieta de mantenimiento. La dieta se ofreció por la mañana después de la evaluación de ingesta de grano y se retiró a las 18:00 h. Este período de adaptación duró 11 días.

### Prueba de palatabilidad de dos opciones

El objetivo de este período fue evaluar la preferencia de dos granos diferentes cuando se ofrecieron simul-

táneamente. Se realizaron todas las combinaciones posibles de granos, resultando 6 ensayos con una repetición cada uno (dos días consecutivos). A las 8:00 horas se ofrecieron 400 g de dos granos diferentes en comederos de plástico individuales durante 15 min. Posteriormente, se retiraron los comederos para calcular el consumo de cada grano. Posteriormente se ofreció dieta de mantenimiento y se retiró a las 18:00 h, y se calculó la ingesta de la dieta. Se repitió la misma metodología hasta evaluar todas las combinaciones posibles de granos.

### Prueba de palatabilidad de cuatro opciones

El objetivo de este período fue evaluar la preferencia de todos los granos cuando se ofrecían simultáneamente. La prueba se realizó con una repetición en dos días consecutivos. A las 8:00 h se ofrecieron 350 g de cada grano en comederos de plástico individuales durante 15 min. Posteriormente, se retiraron los comederos para calcular el consumo de cada grano. Posteriormente se ofreció dieta de mantenimiento, se retiró a las 18:00 h y se calculó el consumo de la dieta.

La palatabilidad se determinó calculando la diferencia entre el alimento ofrecido y el residuo después de la prueba de palatabilidad. La variable de preferencia (índice) se calculó para cada cordero en cada prueba como: (ingesta de grano tipo A)/(ingesta de grano tipo A + ingesta de grano tipo B) para la prueba de elección bidireccional, e: (ingesta de tipo de grano A)/(ingesta de grano tipo A + ingesta de grano tipo B, + ingesta de grano tipo C, + ingesta de grano tipo D) para la prueba de elección de 4 granos. Los resultados se presentan como porcentajes.

### Análisis nutricional de insumos

La composición nutricional del alimento se muestra en el Cuadro 1. Se molió una muestra de 100 g de cada alimento usando una criba de 1 mm y las muestras se analizaron usando los métodos AOAC (2015) para determinar la MS secando a 105° C durante 24 h en un horno de aire forzado (ID: 954.01). Se determinó proteína cruda por el método de Kjeldahl (ID: 2000.11), fibra cruda (ID: 973.18), extracto etéreo (ID: 920.39), cenizas (ID: 942.05) y contenido energético por método calorimétrico.

**Cuadro 1. Composición química de los granos utilizados en la prueba de palatabilidad y de la dieta de mantenimiento\* de corderos durante el periodo experimental.**

	Cebada	Maíz amarillo	Sorgo rojo	Sorgo marrón	*Alfalfa	*Pasto Tanzania	*Concentrado Comercial
Materia seca	92.2	92.98	93.23	93.39	95.07	94.11	84.66
Proteína cruda (%)	9.19	8.31	7.52	6.82	20.15	3.28	12.55
Extracto etéreo (%)	1.23	5.01	5.08	4.61	1.10	1.92	4.42
Ceniza (%)	2.08	1.34	1.50	1.21	12.01	12.03	7.48
Fibra cruda (%)	5.81	2.63	1.60	1.78	25.87	40.00	4.23
Extracto libre de nitrógeno (%)	81.70	82.71	83.58	85.58	35.18	42.77	71.35
Nutrientes digestibles totales (%)	85.81	92.14	93.41	92.36	56.31	58.42	84.66
E D Mcal/kg	3.783	4.062	4.119	4.072	1.720	2.576	3.733
Energía metabolizable Mcal/kg	3.102	3.331	3.377	3.339	1.781	2.112	3.061

ED: Energía digestible. Todos los granos fueron quebrados a un tamaño similar de 0.3 a 0.4 cm. \*Dieta de mantenimiento: 100 g de forraje de alfalfa, 200 g de pasto Tanzania y 350 g de concentrado comercial.

### Análisis estadístico

El consumo y el índice de preferencia de granos durante las pruebas de preferencia se analizaron con un modelo lineal mixto donde los factores fijos fueron el día de evaluación, el tipo de grano y su interacción; el factor aleatorio fue el cordero. La ingesta de la dieta de mantenimiento también se comparó entre periodos. Los datos se evaluaron utilizando el *software* Genstat edición 2022, VSN International Ltd., Hempstead, Inglaterra). Previo a los análisis, se revisaron los datos para determinar la distribución normal de los residuos de error y la homogeneidad de la varianza; se utilizaron datos no transformados. Se consideraron diferencias significativas cuando  $p \leq 0.05$ . La comparación de

medias entre tratamientos se realizó con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). Todas las medias se informan con  $\pm$  error estándar.

### RESULTADOS

Durante el período de familiarización, los días en que todos los animales comieron al menos 100 g de granos fueron: 2 días para maíz amarillo, SM y SA y 5 días para cebada. El consumo promedio de la dieta de mantenimiento fue:  $172.15 \pm 14.03$  g de forraje y  $345.19 \pm 5.03$  g de concentrado comercial.

Los resultados de consumo y preferencia de granos de la prueba de palatabilidad se presentan en los Cuadros 2 y 3, respectivamente. El consumo pro-

**Cuadro 2. Ingesta (g) de los granos durante la prueba de palatabilidad de elección de 2 opciones o prueba de elección de 4 opciones.**

	Cebada	Maíz amarillo	Sorgo rojo	Sorgo marrón	P valor
Prueba 2 opciones	126.4 $\pm$ 31.97a	---	---	189.7 $\pm$ 30.75a	0.202
	200.5 $\pm$ 29.45a	155.7 $\pm$ 32.5a	---	---	0.384
	171.2 $\pm$ 26.09a	---	152.0 $\pm$ 31.50a	---	0.652
	---	145.8 $\pm$ 37.69a	---	181.9 $\pm$ 34.66a	0.55
	---	155.9 $\pm$ 36.07a	216.4 $\pm$ 42.18a	---	0.933
Prueba 4 opciones	---	---	156.4 $\pm$ 36.29a	142.0 $\pm$ 36.73a	0.767
	159.8 $\pm$ 34.22b	117.9 $\pm$ 28.71b	143.1 $\pm$ 24.9b	41.56 $\pm$ 18.71a	0.034

Nota: Medias con la misma letra en la misma hilera no son estadísticamente diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ),  $\pm$  error estándar.

**Cuadro 3. Preferencia (%) de los granos durante la prueba de palatabilidad de elección de 2 opciones o prueba de elección de 4 opciones.**

	Cebada (%)	Maíz amarillo (%)	Sorgo rojo (%)	Sorgo marrón (%)	P valor
Prueba 2 opciones	38a	---	--	62b	0.034
	57a	43a	--		0.202
	53a	---	47a		0.59
	---	41a	---	59a	0.267
	---	43a	57a		0.381
	---	---	54a	48a	0.767
Prueba 4 opciones	31b	23b	28b	8a	0.034

Nota: Medias con la misma letra en la misma hilera no son estadísticamente diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ),  $\pm$  error estándar.

medio de la dieta de mantenimiento durante la prueba de palatabilidad de dos opciones no presentó diferencia significativa en el consumo de forraje y concentrado comercial entre ambas pruebas de palatabilidad de dos o cuatro vías.

## DISCUSIÓN

El estudio demostró que el consumo de maíz amarillo, cebada y los dos tipos de granos de sorgo, son similares en la prueba de dos opciones, pero la preferencia por SM es mayor que la de la cebada. En la prueba de las cuatro opciones de elección, el consumo y la preferencia fue similar en maíz amarillo, SR y cebada, pero fue en ambos casos menor en el SM.

Los principales factores que afectan la ingesta voluntaria en rumiantes son la composición química y características físicas de los alimentos, los efectos postingestivos, la experiencia y el comportamiento social (Forbes y Provenza, 2000). En el presente estudio, la palatabilidad no se vio afectada por la composición física de los granos, ya que todos tenían un tamaño de partícula; tampoco por la experiencia de los animales al comerlo, ya que todos los corderos estaban familiarizados con consumirlos y lo hicieron en el tiempo normal (menos de 7 días); ni por el comportamiento social, ya que se mantuvieron en corrales individuales (Provenza, 1995). Por lo tanto, el principal factor que pudo afectar la palatabilidad pudo deberse a las diferencias en la composición de nutrientes y los efectos postingestivos.

Los granos utilizados tuvieron una calidad de nutrientes relativamente similar (Cuadro 1), pero había

algunas diferencias entre ellos: la cebada tuvo el mayor contenido de proteína y de fibra cruda y la menor concentración de energía metabolizable; mientras que el SM tenía el menor contenido de proteína cruda y el mayor contenido de energía metabolizable. No obstante, se reporta que los granos tienen una similar concentración de almidón total: maíz amarillo ( $647 \text{ g kg}^{-1}$ ), cebada ( $642 \text{ g kg}^{-1}$ ) y sorgo ( $669 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Cervantes-Panh et al., 2013). Las características de los nutrientes están relacionadas con la digestibilidad del grano, así mismo se afecta si se consume solo o en combinación entre ellos. Yahaghi et al. (2013) demostraron como la cebada, la mezcla de cebada y sorgo y el sorgo incluido en una ración afectan la digestibilidad de la dieta; ellos demostraron que la cebada tiene una alta tasa de fermentación del almidón, lo que resultó en una disminución del pH ruminal (5.9), un aumento del propionato ( $25.3 \text{ mol}/100 \text{ mol}$ ) y un efecto negativo en la digestibilidad del nitrógeno. Mientras que el sorgo tiene una tasa de fermentación lenta que resultó en un pH ruminal (6.4), una concentración de propionato de  $17.7 \text{ mol}/100 \text{ mol}$  y beneficia la digestibilidad del nitrógeno. Además, muestran cómo la relación acetato:propionato es diferente: 3.4 para la dieta de cebada y 6.5 para la dieta de sorgo. Estos cambios demostrados en la digestibilidad y los ácidos grasos volátiles entre los granos afectan la palatabilidad, donde una mayor concentración de propionato aumenta la preferencia del alimento (Villalba y Provenza, 1997). Además, Villalba y Provenza (2000) comprobaron que el almidón afecta la ingesta debido a los cambios postingestivos y que finalmente afectan el consumo de los forrajes. Por lo tanto, las diferencias en el consumo y preferencias de los granos en el presente

estudio pudieron estar relacionadas con la digestibilidad de los granos.

Son interesantes los cambios en la ingesta y preferencia de SM, donde durante las elecciones de dos opciones lo consumieron al igual que otros granos, pero durante la elección de cuatro opciones tuvo el menor consumo y preferencia. Se sabe que este tipo de sorgo presentó alto contenido de metabolitos secundarios vegetales; estos componentes se han relacionado con cambios en la palatabilidad de diferentes alimentos (Villalba et al., 2002). Se sabe que los taninos tienen un efecto sobre los microorganismos del rumen y la digestibilidad del alimento que conduce a cambios en los productos finales de la fermentación, como el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y los ácidos grasos volátiles. Además, las saponinas, los taninos y los aceites esenciales generalmente reducen la cantidad de amoniacal producido en el rumen, lo que mejora la asimilación de N por parte de los rumiantes (Patra y Saxena, 2009). Por otro lado, dependiendo de la combinación de ingredientes de la dieta cambiaba la preferencia por un contenido alto o bajo de taninos (Yearsley et al., 2006). Por tanto, la disminución en el consumo y la preferencia de SM durante las pruebas de palatabilidad pueden estar relacionados con el mayor contenido de taninos y por tanto sus efectos postingestivos durante las diferentes combinaciones.

Es bien conocido que existen altas diferencias en el consumo individual cuando el alimento se ofrece en forma de cafetería o de libre selección (Provenza, 1995). Diferentes individuos pueden cubrir sus necesidades de nutrientes mediante patrones muy diferentes de comportamiento alimentario durante el día (Lawson et al., 2000). Si bien no fue el objetivo del estudio, se observó esta variación individual cuando se observó a cada animal durante los 12 días de la prueba de elección bidireccional. El consumo promedio de alimento durante los 12 días de evaluación muestra que 4 corderos comen más maíz amarillo y cebada que sorgos, mientras que los otros 4 corderos comen más de ambos sorgos que los otros dos cereales. El alimento más alto consumido por cordero fue: 2 corderos por maíz, 2 corderos por cebada, 2 corderos por SR y 2 corderos por SM. Por otro lado, el menor alimento consumido fue: 4 corderos por maíz, 2 corderos por SR, 1 cordero para cebada y 1 cordero para SM. Para demostrarlo con precisión es necesario realizar un protocolo específico.

Sin embargo, resulta interesante esta diferencia individual, que muestra la importancia de ofrecer piensos como la técnica de cafetería. Lo cual ayudaría a conocer más el comportamiento de los corderos recién destetados utilizados en estudios de ingesta y preferencia alimenticia.

## CONCLUSIONES

El consumo y la preferencia por el maíz amarillo, la cebada y los dos tipos de sorgo fueron similares en la prueba de dos opciones, excepto por el sorgo SM, cuya preferencia fue mayor que la de la cebada. Esto podría deberse a una mayor fermentación de la cebada, atribuida a su contenido de almidón. En la prueba de cuatro opciones, el menor consumo y preferencia se observaron en el sorgo SM, posiblemente debido a la disponibilidad de otros cereales más palatables, cuya composición nutricional podría haber influido en la elección de los animales.

## AGRADECIMIENTOS

Daniel González-González agradece la beca otorgada por CONACyT (31115) para obtener el grado académico Doctor en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural que otorga la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Así mismo se agradece a Luis Corona Gochi y Atmir Romero Pérez de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo brindado en los AQP y determinación de fenoles en los granos utilizados en el presente estudio.

## LITERATURA CITADA

- Cervantes-Pahm, S. K., Liu, Y., & Stein, H. H. (2013). Comparative digestibility of energy and nutrients and fermentability of dietary fiber in eight cereal grains fed to pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(5), 841-849. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6316>
- Forbes, J. M., & Provenza, F. D. (2000). Integration of learning and metabolic signals into a theory of dietary choice and food intake. En Conjé, P. B. (Ed.), *Ruminant physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction* (pp. 3-19). CAB International.

- Frutos, P., Hervás, G., Giráldez, F. J., & Mantecón, A. R. (2004). Review. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(2), 191-202. <https://doi.org/10.5424/sjar/2004022-73>
- Horadagoda, A., Fulkerson, W. J., Barchia, I., Dobos, R. C., & Nandra, K. S. (2008). The effect of grain species, processing and time of feeding on the efficiency of feed utilization and microbial protein synthesis in sheep. *Livestock Science*, 114(1), 117-126. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.04.016>
- Lawson, R. E., Redfern, E. J., & Forbes, J. M. (2000). Choices by lactating cows between concentrates high or low in digestible undegraded protein. *Animal Science*, 70(3), 515-525. <https://doi.org/10.1017/s1357729800051869>
- Nikkhah, A. (2012). Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 3, 22. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-3-22>
- Patra, A. K., & Saxena, J. (2009). Dietary phytochemicals as rumen modifiers: a review of the effects on microbial populations. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 96(4), 363-375. <https://doi.org/10.1007/s10482-009-9364-1>
- Provenza, F. D. (1995). Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *Journal of Range Management*, 48(1), 2-17.
- Villalba, J. J., & Provenza, F. D. (1997). Preference for flavored wheat straw by lambs conditioned with intraruminal infusions of acetate and propionate. *Journal of Animal Science*, 75(11), 2905-2914. <https://doi.org/10.2527/1997.75112905x>
- Villalba, J. J., & Provenza, F. D. (2000). Postingestive feedback from starch influences the ingestive behaviour of sheep consuming wheat straw. *Applied Animal Behaviour Science*, 66(1-2), 49-63. [https://doi.org/10.1016/s0168-1591\(99\)00081-7](https://doi.org/10.1016/s0168-1591(99)00081-7)
- Villalba, J. J., Provenza, F. D., & Bryant, J. P. (2002). Consequences of the interaction between nutrients and plant secondary metabolites on herbivore selectivity: benefits or detriments for plants? *Oikos*, 97(2), 282-292. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.970214.x>
- Xiong, Y., Zhang, P., Warner, R. D., & Fang, Z. (2019). Sorghum grain: from genotype, nutrition, and phenolic profile to its health benefits and food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 2025-2046. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12506>
- Yahaghi, M., Liang, J. B., Balcells, J., Valizadeh, R., Seradj, A. R., Alimon, R., & Ho, Y. W. (2013). Effect of substituting barley with sorghum on starch digestion, rumen microbial yield and growth in Iranian Baluchi lambs fed high concentrate diets. *Animal Feed Science and Technology*, 183(3-4), 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.04.019>
- Yearsley, J. M., Villalba, J. J., Gordon, I. J., Kyriazakis, I., Speakman, J. R., Tolkamp, B. J., Illius A.W., & Duncan, A. J. (2006). A theory of associating food types with their postingestive consequences. *The American Naturalist*, 167: 705-716. <https://doi.org/10.1086/502805>