







Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2020; 10:1-10. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2020.32>  
Artículo Original. Recibido: 31/07/2020. Aceptado: 28/11/2020. Publicado: 05/12/2020. Clave:2020-63.

## **Efecto de la temperatura de extrusión, humedad y contenido del aceite de girasol sobre las propiedades funcionales y digestibilidad de alimentos para ganado bovino**

Effect of extrusion temperature, moisture and sunflower oil content on the functional properties and digestibility of bovine cattle feeds

**Delgado Efren<sup>\*1</sup> , Alvarado-González Óscar<sup>2</sup> , Medrano-Roldán Hiram<sup>2</sup> ,  
Rodríguez-Miranda Jesús<sup>3</sup> , Carrete-Carreón Francisco<sup>4</sup> , Reyes-Jáquez  
Damián<sup>\*\*2</sup> **

<sup>1</sup>College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences, Department of Family and Consumer Sciences, Food Science and Technology, New Mexico State University, USA. <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Posgrado en Ingeniería Bioquímica, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Durango, México. <sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtepec, México. <sup>4</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, México. \*Autor responsable : Efren Delgado \*\*Autor para correspondencia: Damián Reyes-Jáquez. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Posgrado en Ingeniería Bioquímica, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Durango, Blvd. Felipe Pescador 1830 Ote., Col. Nueva Vizcaya, C.P. 34080, Durango, Durango, México. Tel. + 52 (618) 829-0900. [edelgad@nmsu.edu](mailto:edelgad@nmsu.edu), [ingoscaralvarado@gmail.com](mailto:ingoscaralvarado@gmail.com), [hiramdurango@yahoo.com](mailto:hiramdurango@yahoo.com), [jesus.rm@ittux.edu.mx](mailto:jesus.rm@ittux.edu.mx), [foc1928mx@yahoo.com](mailto:foc1928mx@yahoo.com), [damián.reyes@itdurango.edu.mx](mailto:damián.reyes@itdurango.edu.mx)

### **RESUMEN**

La preparación de productos extruidos con alto contenido de aceite presenta un desafío tecnológico, debido a que el aceite disminuye la fuerza mecánica específica pero también actúa como lubricante y forma complejos de almidón y lípidos; disminuyendo así la gelatinización del almidón. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la temperatura, la humedad y el contenido de aceite de girasol en el proceso de extrusión de alimento para ganado bovino. Se usaron dos ingredientes principales para cada dieta: alfalfa (*Medicago sativa* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Los resultados obtenidos mostraron que la alta temperatura, la humedad y el contenido de aceite, disminuyeron la densidad aparente y la dureza ( $P < 0.05$ ). La interacción entre el contenido de aceite y la temperatura aumentó tanto la densidad aparente como la dureza, mientras que la interacción entre el contenido de humedad y aceite aumentó la dureza ( $P < 0.05$ ). La optimización se realizó con base en las características fisicoquímicas de alimentos comerciales, mostrando que las mejores dietas de frijol se obtuvieron a 121 °C, 14% de contenido de humedad con 0% de aceite de girasol; 120 °C y 16% de contenido de humedad con 3.5% de aceite de girasol; y, 142 °C y 15% de contenido de humedad con 7% de aceite de girasol. La degradabilidad efectiva varió de 87.4 a 90.4% para todas las dietas extruidas; y ninguno de ellos mostró diferencias significativas entre el frijol y la alfalfa ( $P < 0.05$ ), lo que abre una gran oportunidad potencial de producir altas concentraciones de ALC a partir del aceite de girasol a nivel ruminal.

**Palabras clave:** alimento para ganado bovino, digestibilidad, aceite de girasol.

### **ABSTRACT**

Preparation of extruded products with high oil content, presents a technological challenge, due oil decreases specific mechanic force but also acts as a lubricant, and forms starch-lipid complexes; thus, decreasing starch gelatinization. This research aimed to evaluate the effect of temperature, moisture, and sunflower oil content, on the extrusion process of bovine cattle feed. Two main ingredients were used for each diet: alfalfa (*Medicago sativa* L.), and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). The obtained results showed that high temperature, moisture, and oil content, decreased bulk density, and hardness ( $P < 0.05$ ). Oil content-temperature interaction increased both bulk density and hardness, while moisture-oil

content interaction increased ( $P < 0.05$ ) hardness. Optimization was performed based on the physicochemical characteristics of commercial feeds, showing that the best bean diets were obtained at 121°C, 14% moisture content with 0% sunflower oil; 120 °C and 16% moisture content with 3.5% sunflower oil; and, 142 °C and 15% moisture content with 7% sunflower oil. Effective degradability ranged from 87.4 - 90.4% for all extruded diets; and none of them showed significant differences between bean and alfalfa ( $P < 0.05$ ), which opens a high potential opportunity of producing high concentrations of CLA from sunflower oil at a ruminal level.

**Keywords:** Bovine cattle feed, extruded, digestibility, sunflower oil.

## INTRODUCCIÓN

La cría de ganado es una de las principales piedras angulares de la economía mundial, y generalmente se sustenta en los pastizales, que últimamente se han visto afectados por muchos problemas, en particular, las estaciones secas ([Petherick, 2005](#)). Una opción viable para ayudar a resolver este problema es utilizar frijoles pintos (*Phaseolus vulgaris* L.) como ingrediente para la alimentación de los animales. Los frijoles pequeños, divididos o partidos se consideran un subproducto agroindustrial, no apto para el consumo humano. El frijol tiene un buen contenido proteico (18-24%) y energético (60-65%), pero también tiene la desventaja de factores anti-nutricionales (ácido fítico, taninos condensados, polifenoles, inhibidores de tripsina, quimotripsina, inhibidores de  $\alpha$ -amilasa, y presencia de actividad hemaglutinante) ([Iniestra-González et al., 2005](#)). Sin embargo, estos factores pueden inhibirse mediante procesos térmicos, como la extrusión ([González-Valadez et al., 2008](#)). El aceite de girasol es rico en ácido linoleico ([El-Saidy et al., 2011](#)), que los rumiantes transforman en ácido linoleico conjugado (ALC); término común que se refiere a todos los isómeros de un ácido carboxílico octadecanoico con insaturación en diferentes posiciones. El ALC presenta varios beneficios para la salud: ayuda a disminuir la pérdida de peso promoviendo el crecimiento de la masa muscular y, además, es anticancerígeno ([Pariza et al., 2001](#)). El contenido de ALC en la leche bovina varía de 6 a 16 mg/g de lípidos, siendo menor en la carne ([Chillard et al., 2007](#)).

El consumo diario recomendado de ALC es de 3 g/d para una persona de 70 kg, teniendo las tasas de consumo más altas en Australia (1,5 g/d) y Alemania (0,5 g/d) ([Poulson et al., 2004](#)). Los estudios mostraron un aumento de 1,5 g/100 g de lípidos en la leche obtenida de bovinos alimentados con un 11,2% de pipas de girasol y un aumento de 0,8 g/100 g de lípidos de bovinos alimentados con un 5% de una mezcla de aceite de girasol y aceite de pescado (3:1) ([Abu-Ghazaleh y Holmes, 2006](#)). La extrusión tiene una amplia gama de aplicaciones alimentarias ([Singh et al., 2007](#)), lo que representa una buena alternativa de procesamiento, debido a su viabilidad económica, ya que los residuos de cultivos están infrautilizados en muchos países en desarrollo. Esta investigación tuvo como objetivo estudiar el efecto de la temperatura (T), el contenido de humedad (CH) y el contenido de aceite de girasol (CA) en el proceso de extrusión para la elaboración de pienso bovino, lo que podría reflejarse en el contenido de ALC de leche y carne para consumo humano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Dietas experimentales

Se elaboraron dos dietas con 10% de harina de frijol (HF) o 10% de harina de alfalfa (HA). Se utilizó residuo agroindustrial de frijol saltillo (*Phaseolus vulgaris*) (frijoles pequeños y partidos), así como alfalfa (*Medicago sativa*), harina de maíz (*Zea mays*), melaza de caña, Mine-Gan, Química Industrial Agropecuaria SA de CV, México), harina de soja (47,7% de proteína bruta), aceite de girasol y CaCO<sub>3</sub>. Todos los ingredientes se trituraron y tamizaron (<2 mm). Se utilizaron tres proporciones de porcentajes de CA/harina de maíz: 0:55, 3,5: 51,5 o 7:48. Todos los demás ingredientes se mantuvieron constantes para HA y HF: melaza de caña: 5%; harina de soja: 5%; CaCO<sub>3</sub>: 2%; y harina de semillas de algodón sin glándulas: 23%.

### Composición química

La composición química de las materias primas, los extruidos y dos dietas comerciales se determinó siguiendo los estándares (AOAC, 2019).

### Extrusión

Las muestras se procesaron con una extrusora de tornillo simple de laboratorio Brabender (Modelo 2523, 3/4 "L/D - relación 25: 1, C. W., Disburg, Alemania), con cuatro zonas de calentamiento. Las tres primeras zonas de calentamiento tenían una T constante; 90, 100 y 110 °C, respectivamente. La cuarta zona de calentamiento varió (120, 135 y 150 °C), según diseño experimental. La fuerza de compresión del tornillo fue de 1: 1 y el diámetro interno de la boquilla de salida fue de 6 mm. Antes de la extrusión, todos los ingredientes se mezclaron y acondicionaron a CH de 14, 16 o 18%, siguiendo un diseño experimental. Después del procesamiento, las muestras extruidas se enfriaron en la sala T durante 4 horas y se almacenaron en bolsas de poliuretano selladas a 4 °C para su posterior análisis.

### Diseño experimental y análisis de datos

Se realizó un diseño factorial con tres variables independientes para ambas dietas: CA (X<sub>1</sub>) [0, 3.5 y 7%], T (X<sub>2</sub>) [120, 135 y 150 °C] y CH (X<sub>3</sub>) [14, 16 y 18 %] antes de la extrusión. Las variables de respuesta fueron: índice de expansión (IE), densidad aparente (D), índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y dureza (Du). La metodología de respuesta de superficie se aplicó a los datos experimentales utilizando el software Design Expert 7.0<sup>®</sup> y los resultados se analizaron mediante múltiples regresiones cuadráticas. El análisis estadístico y los análisis de varianza (ANOVA) para cada respuesta se realizaron utilizando Statistica 7.0<sup>®</sup>.

### Optimización

La optimización se realizó para cada CA utilizando un diseño compuesto central con tres variables independientes. Las respuestas prioritarias utilizadas para la optimización fueron: Du 25 - 50 N, IE 1.0 - 1.1, ISA mínimo y D. máximo.

### Propiedades funcionales

La IE y D se midieron de acuerdo con (Gujska y Khan, 1990 and Wang *et al.*, 1993), respectivamente. IAA e ISA se determinaron según lo descrito por (Ding *et al.*, 2005). Du se evaluó utilizando un analizador de perfil de textura modelo TA – XT2

(Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY/Stable MicroSystems, Haslemere, Surrey, Reino Unido). En cada ensayo, se cortaron quince muestras utilizando una sonda de cuchilla Warner Brazler (sensibilidad de 1 kg<sub>f</sub> y 5 cm min<sup>-1</sup>) para evaluar la resistencia a la rotura.

### Digestibilidad *in vitro* y degradabilidad efectiva

La digestibilidad *in vitro* (DIV) se calculó mediante el procedimiento Daisy II (ANKOM, 2017). El inóculo se preparó diluyendo el líquido ruminal obtenido de una vaca (raza criollo) fistulada en rumen de 459 kg alimentada en pasto libre, con una solución tampón 1: 4 (v/v). La comparación de medias se obtuvo mediante la prueba de Tukey (P <0,05). La degradabilidad efectiva (DE) se calculó siguiendo el método (Solanas *et al.*, 2004). Las diferencias de medias (Duncan, 95%), las correlaciones (Pearson) y las pruebas t (Student) se realizaron utilizando Statística 7.0®.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Composición química

El contenido químico de todos los ingredientes (Tabla 1) es comparable a otros informes (Reyes-Jáquez *et al.*, 2011), excepto por el contenido de cenizas de alfalfa, que es 2% superior a los valores reportados, posiblemente debido a una mayor presencia de fertilizantes. Además, el contenido de proteína cruda de la alfalfa fue ligeramente más alto que otros informes (Coblentz y Hoffman, 2009). El ELN más alto se mostró en frijoles pintos, aumentando así la capacidad de extrusión de las dietas (Reyes-Jáquez *et al.*, 2012).

**Tabla 1. Composición química de los ingredientes antes de la extrusión (g/100g MS).**

Ingrediente	Ceniza	Proteína bruta	Grasa bruta	Fibra bruta	ELN*
Harina de Alfalfa	10.6 ± 0.15	25.2 ± 1.68	0.6 ± 0.06	23.1 ± 1.29	40.3 ± 0.06
Harina de Pinto Saltillo	3.9 ± 0.11	24.2 ± 0.38	0.9 ± 0.11	2.3 ± 0.19	68.6 ± 0.56
Harina de soya	6.9 ± 0.03	58.5 ± 0.53	1.8 ± 0.13	0.0 ± 0.00	32.8 ± 0.43
Maíz	1.5 ± 0.04	9.2 ± 0.56	1.9 ± 0.00	2.9 ± 0.02	84.3 ± 0.64
Harina de semilla de algodón	7.2 ± 0.72	52.5 ± 1.13	1.9 ± 0.14	7.6 ± 0.09	30.6 ± 1.80
Melaza	7.1 ± 0.78	5.8 ± 0.89	0.1 ± 0.02	0.5 ± 0.05	86.9 ± 3.96
Carbonato de calcio	39.7 ± 1.86	0.1 ± 0.02	0.0 ± 0.00	0.0 ± 0.00	60.2 ± 2.97

ELN= Extracto libre de nitrógeno

### Propiedades funcionales

Todos los coeficientes de regresión de IE son bajos (Tabla 2), posiblemente porque la ELN (Tabla 1) no es lo suficientemente alta para expandirse, y las condiciones del proceso no produjeron un diferencial de presión significativo, lo que influyó solo en la conformación, no en la expansión. Estos resultados son similares a otros (Reyes-Jáquez *et al.*, 2011), donde dietas similares fueron extruidas a la misma T pero con mayor CH (18 - 22%) y sin aceite. La adición de aceite en los extruidos disminuye la gelatinización del almidón debido al menor esfuerzo cortante aplicado sobre la mezcla, ya que actúa como lubricante; también promueve la formación de complejos

lípidos-almidón, lo que restringe la interacción agua-almidón, lo que resulta en una menor IE, (Liu *et al.*, 2006). D y Du de HA y HF presentaron coeficientes negativos significativos en todos los términos lineales (Tabla 2). Los porcentajes altos de CA generan una matriz menos estructurada y más frágil, debido a la formación de complejos lípidos-almidón (Abu-Hardan *et al.*, 2011); además, el alto contenido de fibra bruta contribuye a la fragilidad de las matrices extruidas (Reyes-Jáquez *et al.*, 2012). El alto contenido de lípidos en los extruidos desacelera la retrogradación del almidón y reduce el Du, lo que agrega el hecho de que el alto contenido de T degrada aún más los gránulos de almidón, incluso conduce a la dextrinización y crea una matriz menos densa y más fácil de romper (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2012). Alto CH genera una mayor cantidad de vapor, produciendo un volumen expandido cuando la mezcla se expone a un diferencial de presión, resultando en la ruptura de las paredes celulares de las matrices y creando un producto más poroso con bajo D y Du ( $P < 0.05$ ) (Reyes-Jáquez *et al.*, 2012). La interacción CA-T presentó un efecto positivo significativo ( $P < 0.05$ ) sobre D y Du, debido a que altas concentraciones de aceite generan más complejos lípido-almidón, aunque una T alta podría conducir a romper dichos complejos, permitiendo la gelatinización y retrogradación del almidón (De Pilli *et al.*, 2011). La interacción CA-CH tuvo un efecto positivo ( $P < 0.05$ ) sobre Du; (Hernández-Hernández *et al.*, 2011) propusieron un modelo de almidón y complejos de  $\alpha$ -lisofosfatidilcolina (LPC), lo que indica una fuerte competencia entre los lípidos y el agua para unirse con el almidón, e inferir que es probable que los altos niveles de CH y CA unan el almidón y agua, gelatinizándola y obteniendo matrices más densas y duras.

**Tabla 2. Coeficientes de regresión obtenidos de modelos de superficie de respuesta cuadrática para dietas de frijol y alfalfa.  $X_1$  = contenido de aceite,  $X_2$  = temperatura,  $X_3$  = contenido de humedad.**

Respuestas	Intersección		Lineal			Cuadrática			Interacciones			R <sup>2</sup>
	b <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sup>2</sup> <sub>1</sub>	X <sup>2</sup> <sub>2</sub>	X <sup>2</sup> <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>		
IE-HA	1.088	-0.023*	-0.047*	-0.018*	-0.02*	-0.046*	-0.009*	-0.019+	0.014*	-0.009*	0.537	
IE-HF	1.058	-0.02*	-0.044*	0.005	0.004	-0.03*	0.004*	-0.008	0.004*	0.022	0.384	
D-HA	988.805	-47.65*	-32.52*	-12.06*	3.999	48.497*	8.27	57.404*	-16.93*	34.478*	0.457	
D-HF	1100.499	-53.71*	-42.53*	-17.54*	5.711*	17.027*	-34.43*	13.287*	-10.09*	2.722	0.439	
Du-HA	34.232	-20.65*	-4.932*	-7.829*	16.34*	3.006*	0.804	8.319*	3.542*	1.237	0.697	
Du-HF	34.636	-19.41*	-2.922*	-5.873*	15.54*	1.389	3.54*	6.134*	2.242*	1.224	0.706	
IAA-HA	2.688	-0.072*	0.19*	-0.006	-0.003	0.076	-0.08	0.051	0	0.054	0.549	
IAA-HF	2.273	-0.133*	0.065*	-0.013	0.012	0.006	0.007	0.028	-0.011	0.033	0.422	
ISA-HA	12.024	-0.375	-0.868	0.224*	-0.05	-0.882*	0.586*	0.17	0.076	0.099	0.547	
ISA-HF	11.54	0.489*	-0.234*	-0.214*	0.096	-0.11	0.339*	-0.247*	-0.191	0.194	0.452	

\*Indica diferencia significativa ( $P < 0.05$ ). HA = dieta de alfalfa, HF = dieta de frijoles, IE = índice de expansión, Du = dureza, D = densidad aparente, ISA = índice de solubilidad en agua y IAA = índice de absorción de agua

El IAA se relaciona, en primer lugar, con la cantidad de agua absorbida por los gránulos de almidón tras la ingestión en exceso de agua y puede utilizarse como índice de grado de gelatinización ([González-Valadez et al., 2008](#)); y, en segundo lugar, al equilibrio hidrófilo de las proteínas en la mezcla, que cambia según el grado de desnaturalización de las proteínas, donde el proceso de extrusión cambia los perfiles de solubilidad ([Serrano et al., 1998](#)). La Tabla 2 presenta el análisis de regresión IAA: términos lineales CA y T afectados ( $P < 0.05$ ) en IAA de ambas dietas. El aumento de CA disminuye el IAA debido a la menor disponibilidad de agua para el gránulo de almidón. En cuanto a T, a valores altos, las cadenas de amilosa y amilopectina forman una matriz expandible que se traduce en una mayor capacidad de retención de agua. ISA está directamente relacionado con la degradación del almidón que ocurre dentro de la extrusora ([Gujska y Khan, 1990](#)). La Tabla 2 presenta el análisis de regresión ISA: término lineal CH, T y términos cuadráticos CH de HA; y los términos lineales T, CH y CA, el término cuadrático CH, el término de interacción T y CA de HF, tuvieron un efecto significativo ( $P < 0.05$ ) en ISA. El término lineal negativo T de HF y la interacción T y CA indican que con T alta, la desnaturalización de proteínas expone grupos hidrófobos ubicados en el interior, lo que contribuye a la disminución de la solubilidad ([Ikpeme et al., 2010](#)).

### Mejoramiento

Se obtuvieron condiciones óptimas de extrusión a tres concentraciones de aceite diferentes para cada dieta; HA (0% CA): 142 °C, 18% CH; IE: 1,04, D: 1042,7 kg/m<sup>3</sup>, Du: 50 N, IAA: 2,67 g/g y, ISA: 10,5%; HA (3,5% CA): 131 °C, 18% CH; IE: 1,04, D: 1021,7 kg/m<sup>3</sup>, Du: 50 N, IAA: 2,67 g/g y, ISA: 10,9%; HA (7% CA): 120 °C, 18% CH; IE: 1,04, D: 1004,6 kg/m<sup>3</sup>, Du: 25 N, IAA: 2,67 g/g y, ISA: 10,4%; HF (0% CA): 121 °C, 14% CH; IE: 1,09, D: 1125 kg/m<sup>3</sup>, Du: 50 N, IAA: 2,34 g/ y, ISA: 12,2%; HF (3,5% CA): 120 °C, 16% CH; IE: 1,07, D: 1121,3 kg/m<sup>3</sup>, Du: 50 N, IAA: 2,26 g/g y, ISA: 12%; y HF (7% CA): 142 °C, 15% CH; IE: 1,02, D: 1101 kg/m<sup>3</sup>, Du: 50 N, IAA: 2,27 g/g y ISA: 11,6%. HA con 7% de CA tuvo la Du más baja, mientras que esto no se observó con HF. Por otro lado, se requirió una T baja para HF con CA alta en comparación con HA con CA baja. HF necesitaba una T alta para obtener características de extrusión óptimas, específicamente extruidos con 7% de CA en comparación con dietas con 3 o 0% de CA. Los resultados de optimización tienen los valores requeridos para ser comercializados por sus características similares a los productos comerciales como se muestra en publicaciones anteriores ([Reyes-Jáquez et al., 2011](#)). El análisis químico se realizó sobre el tratamiento óptimo de HF con 7% de CA: CH: 10,7 ± 0,22, proteína: 17,6 ± 0,63, grasa: 10,7 ± 0,11, fibra: 2,5 ± 0,63 y cenizas: 8,7 ± 0,18 g/100 g.

### Digestibilidad *in vitro* y degradabilidad efectiva

La DIV de 60,7% o más es una digestibilidad bien aceptada ([Coblentz y Hoffman, 2009](#)), lo que sitúa a la HA y la HF por encima de dichos valores (Tabla 3). Excluyendo ambas dietas comerciales, todas las dietas tenían DIV que variaba del 85 al 89% sin diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre ellas. La HA que contiene 0 o

3.5% de CA tiene un DIV más bajo ( $P < 0.05$ ) que ambas dietas comerciales. HF con 3.5 y 7% de CA tuvo DIV comparable a ambas dietas comerciales, concluyendo que la incorporación de aceite de girasol en las dietas extruidas, aumenta ( $P < 0.05$ ) DIV de HF. La Tabla 3 muestra la degradabilidad potencial (DP) y la DE de todas las dietas. DP describe la suma de las fracciones soluble (A) e insoluble (B), siendo B, el pico de degradabilidad máximo alcanzado durante 120 h. La Tabla 3 mostró que todos los valores de DEs oscilaron entre 87.4 y 90.4% sin diferencia significativa ( $P > 0.05$ ), valores aceptables en comparación con otros reportes (Reyes-Jáquez *et al.*, 2011). Se puede concluir que la presencia de CA y factores antinutricionales no tuvo una diferencia significativa en la DIV ni en la DE ya que fueron inactivados por T alta y estrés de cizallamiento durante el procesamiento. Además, el CA se encuentra dentro de los rangos permitidos para el consumo de rumiantes (Byers y Schelling, 1993). La extrusión T, CH y CA afectaron negativamente ( $P < 0.05$ ) D y Du de ambas dietas. Sin embargo, el aumento de T y CA, y CH y CA, aumenta ( $P < 0.05$ ) Du. La DIV obtenida fue 89.1 y 86.4% para HF y HA con 7% de CA, respectivamente. Las condiciones óptimas de extrusión obtenidas para HF con 7% de CA fueron 142 °C y 15% de CH; mientras que para HA con 7% de CA fueron 120 °C y 18% de CH. La DE fue 87,5 y 87,4% para HF y HA con 7% de CA, respectivamente. Los resultados mostraron que la incorporación de aceite de girasol en las dietas aumenta ( $P < 0.05$ ) la DIV, abriendo así una alta oportunidad potencial de producir altas concentraciones de ALC a nivel ruminal.

**Tabla 3. Coeficientes de regresión no lineal de degradabilidad *in situ* (DIS) y degradabilidad efectiva (DE) de dietas extruidas de frijol y alfalfa en tres concentraciones de aceite diferentes: 0, 3,5 y 7%.**

Dieta	Aceite (%)	Coeficiente			DP (%)	DE (%)	R <sup>2</sup>	DIV (%)
		A	B	C				
Alfalfa	0	0.54	0.41	0.07	95.2	88.2 <sup>a</sup>	0.99	85.2
Alfalfa	3.5	0.5	0.45	0.07	95.2	87.5 <sup>a</sup>	0.98	84.7
Alfalfa	7	0.51	0.44	0.07	94.7	87.4 <sup>a</sup>	0.96	86.4
Frijol	0	0.6	0.36	0.07	96	89.7 <sup>a</sup>	0.98	86.3
Frijol	3.5	0.6	0.36	0.06	96.2	90.4 <sup>a</sup>	0.98	89.4
Frijol	7	0.49	0.47	0.08	95.9	87.5 <sup>a</sup>	0.97	89.1
Comercial 1	-	-	-	-	-	-	-	93.8
Comercial 2	-	-	-	-	-	-	-	91.5

Letras diferentes indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ); Tiempos de degradabilidad: 0 - 120 h. A = fracción soluble o rápidamente degradable, B = fracción insoluble pero potencialmente degradable, C = tasa de degradación, t = tiempo de residencia del alimento, considerado 5% por hora, DP = degradabilidad potencial (A + B), DE = tasa de degradabilidad efectiva a tiempo de residencia constante del alimento en el animal ( $kp$ )  $0.05 \cdot h^{-1}$

## CONCLUSIÓN

La temperatura de extrusión y el contenido de humedad afectaron negativamente ( $P < 0.05$ ) D y Du del alimento para ganado extruido. Asimismo, D y Du disminuyeron ( $P < 0.05$ ) en los extruidos, a medida que aumentaba el contenido de aceite. Sin embargo, el aumento de la temperatura de extrusión y el contenido de aceite permite aumentar ( $P < 0.05$ ) la dureza de los extruidos, así como aumentar el contenido de humedad y aceite. La digestibilidad *in vitro* obtenida fue de 89,1% y 86,4% para las dietas de frijoles y alfalfa, respectivamente. Las condiciones óptimas de extrusión obtenidas para un alimento para ganado bovino utilizando residuos de frijol pinto con

7% de aceite de girasol fueron 142 °C y 15% de contenido de humedad. Mientras que para los extruidos que contienen alfalfa con un 7% de aceite de girasol fueron 120 °C y un 18% de contenido de humedad. La degradabilidad efectiva *in situ* fue de 87,5% y 87,4% para las dietas de frijoles y alfalfa, respectivamente. Los resultados mostraron que la incorporación de aceite de girasol en dietas extruidas, aumenta (P <0.05) la digestibilidad *in vitro* de dietas extruidas de alfalfa y frijol pinto, abriendo una oportunidad de alto potencial para incrementar la producción de ALC orgánico a nivel ruminal.

### LITERATURA CITADA

ABU-GHAZALEH AA and Holmes LD. 2006. Diet Supplementation with Fish Oil and Sunflower Oils to increase Conjugated Linoleic Acid Levels in Milk Fat of Partially Grazing Dairy Cows. *J.Dairy Sci.* 90:2897-2904. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-684>

ABU-HARDAN M, Hill EH and Farhat I. 2011. Starch conversion and expansion behavior of wheat starch cooked with either palm, soybean or sunflower oils in a co-rating intermeshing twin-screw extruder. *International Journal of Food Science and Technology.* 46:268-274. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02473.x>

ANKOM. 2017. "In vitro true digestibility using the DAISY incubator". [https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method\\_3\\_Invitro\\_D200\\_D200I.pdf](https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method_3_Invitro_D200_D200I.pdf)

AOAC. 2019. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists International. Gaithersburg, Maryland. 21st ed. Vol. I. 700 p.

BYERS FM and Schelling GT. 1993. Lipids in ruminant nutrition. In: Church DC, editor. The ruminant animal: digestive, physiology and nutrition. 2<sup>nd</sup> ed. New Jersey, U.S.A: Waveland Press Inc. Pp. 298-312. ISBN 10: 0-88133-740-4. ISBN 13: 978-0-88133-740-2.

CHILLARD Y, Glasser F, Ferlay A, Bernard L, Rouel J and Doreau M. 2007. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109:828-855. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200700080>

COBLENTZ WK and Hoffman PC. 2009. Effects of bale moisture and bale diameter on spontaneous heating, dry matter recovery, in vitro true digestibility, and in situ disappearance kinetics of alfalfa-orchardgrass hays. *J. Dairy Sci.* 92:2853- 2874. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1921>

DE PILLI T, Derossi A, Talja RA, Jouppila K and Secerini C. 2011. Study of starch-lipid complexes in model system and real food produced using extrusion-cooking technology. *Innovate Food Science and Engineering Tech.* 12:610-616. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.07.011>



DING QB, Ainsworth P, Tucker P, Marson H. 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*. 66:283-289. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.019>

EL-SAIDY EA, Faraouk S and Adb El-Ghany HM. 2011. Evaluation of different seed priming on seeding growth, yield and quality components in two sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *Trends in Applied Sciences Research*. 6:977-991. <https://doi.org/10.3923/tasr.2011.977.991>

GONZÁLEZ-Valadez M, Munoz-Hernández G and Sánchez-López R. 2008. Design and evaluation of an extruder to convert crop residues to animal feed. *Biosystems Engineering*. 100:66-78. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.02.002>

GUJSKA E and Khan K. 1990. Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *J. Food Sci*. 55:466-469. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06788.x>

HERNÁNDEZ-Hernández E, Ávila-Orta CA, Hsiao BS, Castro-Rosas J, Gallegos-Infante JA, Morales-Castro J, Ochoa-Martínez LA, Gómez-Aldapa CA. 2011. Synchrotron X-ray scattering analysis of the interaction between corn starch and an exogenous lipid during hydrothermal treatment. *Journal of Cereal Science*. 54:69-75. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.03.001>

IKPEME ECA, Osuchukwu NC and Oshiele L. 2010. Functional and sensory properties of wheat (*Aestium triticism*) and taro flour (*Colocasia esculenta*) composite bread. *Afr. J. Food Sci*. 4:248-253. <https://academicjournals.org/journal/AJFS/article-full-text-pdf/4AAAB0C23570>

INIESTRA González, José J., Ibarra Pérez, Francisco J., Gallegos Infante, José A., Rocha Guzmán, Nuria E. y González Laredo, Rubén F. Factores antinutricios y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). *Agrociencia*. 2005;39(6):603-610. [fecha de Consulta 21 de Julio de 2020]. ISSN: 1405-3195. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/302/30239603.pdf>

LIU L, Kerry JF and Kerry JP. 2006. Effect of food ingredients and selected lipids on the physical properties of extruded edible films casings. *International Journal of Food Science and Technology*. 41:295-302. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01063.x>

PARIZA MW, Park Y and Cook ME. 2001. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Progress in Lipid Research*. 40:283-298. [https://doi.org/10.1016/S0163-7827\(01\)00008-X](https://doi.org/10.1016/S0163-7827(01)00008-X)

PETHERICK JC. 2005. Animal welfare issues associated with extensive livestock production; the northern Australian beef cattle industry. *Applied Animal Behavior Science*. 92:211-234. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.05.009>

POULSON CS, Shiman TR, Ure AL, Cornforth D and Olson KC. 2004. Conjugated linolenic acid content of beef from cattle fed diets containing high grain, CLA, or raised on forages. *Livestock Production Science*. 91:117-128. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.07.012>

REYES-Jáquez D, Casillas F, Flores N, Andrade-González I, Solís-Soto A, Medrano-Roldan H, Carrete F, Delgado E. 2012. The effect of Glandless Cottonseed Meal Content and Process Parameters on the Functional Properties of Snack during Extrusion Cooking. *Food and Nutrition Sciences*. 3:1716-1725. <https://doi.org/10.4236/fns.2012.312225>

REYES-Jáquez D, Vargas-Rodríguez J, Delgado-Licón E, Rodríguez-Miranda J, Araiza-Rosales E, Andrade-González I, Solís-Soto A And Medrano-Roldan H. 2011. Optimization of the Extrusion Process Temperature and moisture Content on the Functional Properties and in vitro Digestibility of Bovine Cattle Feed Made out of Waste Bean Flour. *Journal of Animal Science Advances*. 1:100-110. ISSN: 2251-7219 [https://www.researchgate.net/publication/245536642\\_Optimization\\_of\\_the\\_Extrusion\\_Process\\_Temperature\\_and\\_Moisture\\_Content\\_on\\_the\\_Functional\\_Properties\\_and\\_in\\_vitro\\_Digestibility\\_of\\_Bovine\\_Cattle\\_Feed\\_Made\\_out\\_of\\_Waste\\_Bean\\_Flour](https://www.researchgate.net/publication/245536642_Optimization_of_the_Extrusion_Process_Temperature_and_Moisture_Content_on_the_Functional_Properties_and_in_vitro_Digestibility_of_Bovine_Cattle_Feed_Made_out_of_Waste_Bean_Flour)

RODRÍGUEZ-Miranda J, Delgado-Licón E, Ramírez-Wong B, Solís-Soto A, Vera MA, Gómez-Aldapa C, Medrano-Roldán H. 2012. Effect of Moisture, Extrusion Temperature and Screw Speed on Residence Time, Specific Mechanical Energy and Psychochemical Properties of Bean Four and Soy Protein Aquaculture Feeds. *Journal of Animal Production Advances*. 2:65-73. ISSN: 2251-7677. [https://www.researchgate.net/publication/246044402\\_Effect\\_of\\_Moisture\\_Extrusion\\_Temperature\\_and\\_Screw\\_Speed\\_on\\_Residence\\_Time\\_Specific\\_Mechanical\\_Energy\\_and\\_Psychochemical\\_Properties\\_of\\_Bean\\_Four\\_and\\_Soy\\_Protein\\_Aquaculture\\_Feeds](https://www.researchgate.net/publication/246044402_Effect_of_Moisture_Extrusion_Temperature_and_Screw_Speed_on_Residence_Time_Specific_Mechanical_Energy_and_Psychochemical_Properties_of_Bean_Four_and_Soy_Protein_Aquaculture_Feeds)

SERRANO X, Baucells MD, Barroeta AC and Puchal F. 1998. Effects of extruded diet on the productive performance of weaning and post-weaned calves. *Animal Feed Science and Technology*. 70:275-279. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00082-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00082-5)

SINGH S, Gamlath S and Walkeling L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *J. Food Sci. and Technol*. 42:916-929. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>

SOLANAS E, Castrillo C, Balcells J and Guada JA. 2004. In situ ruminal degradability and intestinal digestion of raw and extruded legume seeds and soya bean meal protein. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 89:166-171. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2005.00555.x>

WANG WM, Klopfenstein CF and Ponte JG. 1993. Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat and wheat bran and on the baking quality of the wheat bran. *Cereal Chem*. 70:707-711. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9434019>