

Abanico Veterinario. Janeiro-December 2020; 10:1-10. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2020.32>
Artigo Original. Recebido: 31/07/2020. Aceito: 28/11/2020. Publicado: 05/12/2020. Chave:2020-63.

Efeito da temperatura de extrusão, umidade e teor de óleo de girassol nas propriedades funcionais e digestibilidade da alimentação do gado

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

Delgado Efren*¹ [ID](#), Alvarado-González Óscar² [ID](#), Medrano-Roldán Hiram² [ID](#),
Rodríguez-Miranda Jesús³ [ID](#), Carrete-Carreón Francisco⁴ [ID](#), Reyes-Jáquez
Damián**² [ID](#)

¹College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences, Department of Family and Consumer Sciences, Food Science and Technology, New Mexico State University, USA. ²Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Posgrado en Ingeniería Bioquímica, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Durango, México. ³Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtepec, México. ⁴Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, México. *Autor responsável: Efren Delgado **Autor para correspondência: 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, ingoscaralvarado@gmail.com, hiramdurango@yahoo.com, jesus.rm@ittux.edu.mx, foc1928mx@yahoo.com, damián.reyes@itdurango.edu.mx

RESUMO

A preparação de produtos extrusados com alto teor de óleo apresenta um desafio tecnológico, pois o óleo diminui a força mecânica específica, mas também atua como lubrificante e forma complexos amido-lipídio; diminuindo assim a gelatinização do amido. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da temperatura, umidade e teor de óleo de girassol no processo de extrusão de ração para bovinos. Dois ingredientes principais foram usados para cada dieta: alfafa (*Medicago sativa* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Os resultados obtidos mostraram que altas temperaturas, umidade e teor de óleo diminuíram a densidade aparente e a dureza ($P < 0,05$). A interação entre o teor de óleo e a temperatura aumentou a densidade do solo e a dureza, enquanto a interação entre o teor de umidade e o óleo aumentou a dureza ($P < 0,05$). A otimização foi realizada com base nas características físico-químicas de alimentos comerciais, mostrando que as melhores dietas de feijão foram obtidas a 121 °C, 14% de umidade com 0% de óleo de girassol; 120°C e teor de umidade de 16% com óleo de girassol 3,5%; e, 142 °C e teor de umidade de 15% com óleo de girassol a 7%. A degradabilidade efetiva variou de 87,4 a 90,4% para todas as dietas extrusadas; e nenhum deles apresentou diferenças significativas entre feijão e alfafa ($P < 0,05$), o que abre uma grande oportunidade potencial para produzir altas concentrações de ALC a partir do óleo de girassol em nível ruminal.

Palavras-chave: ração para gado, digestibilidade, óleo de girassol.

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.

INTRODUÇÃO

A pecuária é um dos principais pilares da economia global, sendo normalmente sustentada por pastagens, que ultimamente têm sido afetadas por diversos problemas, principalmente, estações secas (Petherick, 2005). Uma opção viável para ajudar a resolver esse problema é a utilização do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) como ingrediente para ração animal. Os grãos pequenos, quebrados ou partidos são considerados subprodutos agroindustriais, não adequados para consumo humano. O feijão tem um bom conteúdo protéico (18-24%) e energético (60-65%), mas também tem a desvantagem de fatores antinutricionais (ácido fítico, taninos condensados, polifenóis, inibidores de tripsina, quimiotripsina, inibidores de α -amilase e presença de atividade hemaglutinante) (Iniestra-González *et al.*, 2005). No entanto, esses fatores podem ser inibidos pelo processamento térmico, como a extrusão (González-Valadez *et al.*, 2008). O óleo de girassol é rico em ácido linoléico (El-Saidy *et al.*, 2011), que é transformado pelos ruminantes em ácido linoléico conjugado (ALC); um termo comum que se refere a todos os isômeros de um ácido carboxílico octadecanóico com insaturação em diferentes posições. O ALC apresenta vários benefícios à saúde: ajuda a diminuir a perda de peso promovendo o crescimento da massa muscular e, também, é anticancerígeno (Pariza *et al.*, 2001). O conteúdo de ALC no leite bovino varia de 6 a 16 mg/g de lipídios, sendo menor na carne (Chillard *et al.*, 2007).

O consumo diário recomendado de ALC é de 3 g/d para uma pessoa de 70 kg, tendo as taxas de consumo mais altas na Austrália (1,5 g/d) e na Alemanha (0,5 g/d) (Poulson *et al.*, 2004). Estudos mostraram um aumento de 1,5 g/100 lipídios g no leite obtido em bovinos alimentados com 11,2% de sementes de girassol e um aumento de 0,8 g/100 lipídios g em bovinos alimentados com 5% de uma mistura de óleo de girassol e óleo de peixe (3:1) (Abu-Ghazaleh e Holmes, 2006). A extrusão possui uma ampla gama de aplicações em alimentos (Singh *et al.*, 2007), representando uma boa alternativa de processamento, devido à sua viabilidade econômica, uma vez que os resíduos de culturas são subutilizados em muitos países em desenvolvimento. Esta pesquisa teve como objetivo estudar o efeito da temperatura (T), teor de umidade (TU) e teor de óleo de girassol (TO) no processo de extrusão para elaboração de ração para bovinos, o que poderia se refletir no teor de ALC do leite e da carne para consumo humano.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dietas experimentais

Duas dietas foram elaboradas com 10% de farinha de feijão (FF) ou 10% de farinha de alfafa (FA). Utilizou-se resíduo agroindustrial do feijão Saltillo (*Phaseolus vulgaris*) (grãos pequenos e triturados), alfafa (*Medicago sativa*), amido de milho (*Zea mays*), melação de cana de açúcar, Mine-Gan, Química Industrial Agropecuária S.A. de C.V., México), farinha de soja (47,7% de proteína bruta), óleo de girassol e CaCO_3 . Todos os ingredientes foram moídos e peneirados (<2 mm). Foram utilizadas três razões de percentagens de TO/farinha de milho: 0:55, 3,5: 51,5 ou 7:48. Todos os outros ingredientes foram mantidos constantes para FA e FF: melação de cana: 5%; farinha de soja: 5%; CaCO_3 : 2%; e farinha de semente de algodão sem glândula: 23%.

Composição química

A composição química das matérias-primas, extrudados e duas dietas comerciais foram determinadas seguindo os padrões ([AOAC, 2019](#)).

Extrusão

As amostras foram processadas com uma extrusora de parafuso simples de laboratório Brabender (Modelo 2523, 3/4" L/D - proporção 25: 1, C. W., Disburg, Alemanha), com quatro zonas de aquecimento. As primeiras três zonas de aquecimento tinham um T constante; 90, 100 e 110 °C, respectivamente. A quarta zona de aquecimento variou (120, 135 e 150 °C), de acordo com o planejamento experimental. A força de compressão do parafuso era de 1: 1 e o diâmetro interno da matriz de saída era de 6 mm. Antes da extrusão, todos os ingredientes foram misturados e condicionados a TU de 14, 16 ou 18%, seguindo o planejamento experimental. Após o processamento, as amostras extrudadas foram resfriadas na sala T por 4 he armazenadas em sacos de poliuretano lacrados a 4 °C para posterior análise.

Projeto experimental e análise de dados

Um planejamento fatorial com três variáveis independentes foi realizado para ambas as dietas: TO (X_1) [0, 3,5 e 7%], T (X_2) [120, 135 e 150 °C] e TU (X_3) [14, 16 e 18 %] antes da extrusão. As variáveis de resposta foram: índice de expansão (IE), densidade do solo (D), índice de absorção de água (IAÁ), índice de solubilidade em água (ISÁ) e dureza (DU). A metodologia de resposta de superfície foi aplicada aos dados experimentais usando o software Design Expert 7.0[®] e os resultados foram analisados por regressões quadráticas múltiplas. A análise estatística e a análise de variância (ANOVA) para cada resposta foram realizadas usando Statistica 7.0[®].

Otimização

A otimização foi realizada para cada TO usando um projeto composto central com três variáveis independentes. As respostas prioritárias usadas para a otimização foram: DU 25 - 50 N, IE 1,0 - 1,1, ISÁ mínimo e máximo D.

Propriedades funcionais

IE e D foram medidos de acordo com (Gujska e Khan, 1990 e Wang *et al.*, 1993), respectivamente. IAÁ e ISÁ foram determinados conforme descrito por (Ding *et al.*, 2005). DU foi avaliado usando um analisador de perfil de textura modelo TA-XT2 (Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY/Stable MicroSystems, Haslemere, Surrey, UK). Em cada ensaio, quinze amostras foram cortadas com uma sonda de lâmina Warner Brazler (sensibilidade de 1 kgf e 5 cm min⁻¹) para avaliar a resistência à ruptura.

Digestibilidade *in vitro* e degradabilidade efetiva

A digestibilidade *in vitro* (DIV) foi calculada pelo procedimento Daisy II (ANKOM, 2017). O inóculo foi preparado diluindo-se o líquido ruminal obtido de uma vaca fistulada no rúmen de 459 kg (raça criolla) alimentada em pastejo livre, com solução tampão 1: 4 (v/v). A comparação de médias foi obtida pelo teste de Tukey (P <0,05). A degradabilidade efetiva (DE) foi calculada seguindo o método (Solanas *et al.*, 2004). Diferenças de médias (Duncan, 95%), correlações (Pearson) e testes t (Student) foram realizados usando Statistica 7.0[®].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição química

O conteúdo químico de todos os ingredientes (Tabela 1) é comparável a outros relatórios (Reyes-Jáquez *et al.*, 2011), exceto para o conteúdo de cinzas da alfafa, que é 2% acima dos valores relatados, possivelmente devido a uma maior presença de fertilizantes. Além disso, o teor de proteína bruta da alfafa era ligeiramente mais alto do que outros relatórios (Coblentz e Hoffman, 2009). O maior ELN foi mostrado no feijão, aumentando assim a capacidade de extrusão das dietas (Reyes-Jáquez *et al.*, 2012).

Tabela 1. Composição química dos ingredientes antes da extrusão (g/100g MS).

Ingrediente	Cinza	Proteína bruta	Gordura bruta	Fibra bruta	ELN*
Farinha de alfafa	10.6 ± 0.15	25.2 ± 1.68	0.6 ± 0.06	23.1 ± 1.29	40.3 ± 0.06
Pinto Saltillo Farinha de feijão	3.9 ± 0.11	24.2 ± 0.38	0.9 ± 0.11	2.3 ± 0.19	68.6 ± 0.56
Farinha de soja	6.9 ± 0.03	58.5 ± 0.53	1.8 ± 0.13	0.0 ± 0.00	32.8 ± 0.43
Milho	1.5 ± 0.04	9.2 ± 0.56	1.9 ± 0.00	2.9 ± 0.02	84.3 ± 0.64
Farelo de caroço de algodão	7.2 ± 0.72	52.5 ± 1.13	1.9 ± 0.14	7.6 ± 0.09	30.6 ± 1.80
Melaço	7.1 ± 0.78	5.8 ± 0.89	0.1 ± 0.02	0.5 ± 0.05	86.9 ± 3.96
Carbonato de cálcio	39.7 ± 1.86	0.1 ± 0.02	0.0 ± 0.00	0.0 ± 0.00	60.2 ± 2.97

ELN= extrato livre de nitrogênio

Propriedades funcionais

Todos os coeficientes de regressão de IE são baixos (Tabela 2), possivelmente porque ELN (Tabela 1) não é alto o suficiente para-se expandir e as condições do processo não produziram um diferencial de pressão significativo, influenciando apenas a modelagem, não a expansão. Esses resultados são semelhantes a outros (Reyes-Jáquez *et al.*, 2011), onde dietas semelhantes foram extrusadas no mesmo

T, mas com maior TU (18 - 22%) e sem óleo. A adição de óleo em extrudados diminui a gelatinização do amido devido à menor tensão de cisalhamento aplicada à mistura, uma vez que atua como um lubrificante; também promove a formação de complexos de lipídio-amido, restringindo a interação água-amido, resultando em menor IE (Liu *et al.*, 2006). D e DU de FA e FF apresentaram coeficientes negativos significativos em todos os termos lineares (Tabela 2). Altas porcentagens de TO geram uma matriz menos estruturada e mais frágil, por causa da formação de complexos de amido-lipídio (Abu-Hardan *et al.*, 2011); além disso, o alto teor de fibra bruta contribui para a fragilidade das matrizes extrudadas (Reyes-Jáquez *et al.*, 2012). O alto teor de lipídios nos extrudados desacelera a retrogradação do amido e reduz o DU, acrescentando o fato de que a alta T degrada ainda mais os grânulos de amido, mesmo levando à dextrinização e criando uma matriz menos densa e mais fácil de romper (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2012). Alto TU gera uma quantidade maior de vapor, produzindo um volume expandido quando a mistura é exposta a um diferencial de pressão, resultando na ruptura das paredes celulares das matrizes e criando um produto mais poroso com baixo D e DU ($P < 0,05$) (Reyes-Jáquez *et al.*, 2012). A interação TO-T apresentou um efeito positivo significativo ($P < 0,05$) em D e DU, pois altas concentrações de óleo geram mais complexos lipídio-amido, embora T alto possa levar à quebra de tais complexos, permitindo a gelatinização e retrogradação do amido (De Pilli *et al.*, 2011). A interação TO-TU teve um efeito positivo ($P < 0,05$) em DU; (Hernández-Hernández *et al.*, 2011) propôs um modelo de complexos de amido e α -lisofosfatidilcolina (LFC), indicando uma forte competição entre lipídios e água para-se ligar ao amido e inferir que altos TU e TO são susceptíveis de ligar o amido e água, gelatinizando-a e obtendo matrizes mais densas e duras.

Tabela 2. Coeficientes de regressão obtidos a partir de modelos de superfície de resposta quadrática para dietas de feijão e alfafa. X_1 = teor de óleo, X_2 = temperatura, X_3 = teor de umidade.

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

*Indica diferença significativa ($P < 0,05$). FA = dieta de alfafa, FF = dieta de feijão, IE = índice de expansão, DU = dureza, D = densidade aparente, ISÁ = índice de solubilidade em água e IAÁ = índice de absorção de água

O IAÁ está primeiramente relacionado à quantidade de água absorvida pelos grânulos de amido após a deglutição em excesso de água e pode ser usado como índice do grau de gelatinização ([González-Valadez et al., 2008](#)); e, em segundo lugar, ao balanço hidrofílico das proteínas na mistura, que muda de acordo com o grau de desnaturização das proteínas, onde o processo de extrusão muda os perfis de solubilidade ([Serrano et al., 1998](#)). A Tabela 2 apresenta a análise de regressão do IAÁ: termos lineares TO e T afetados ($P < 0,05$) no IAÁ de ambas as dietas. Aumentar o TO diminui o IAÁ devido à menor disponibilidade de água para o grânulo de amido. Já para T, em valores elevados, as cadeias de amilose e amilopectina formam uma matriz expansível que se traduz em maior capacidade de retenção de água. O ISÁ está diretamente relacionado à degradação do amido que ocorre dentro da extrusora ([Gujska e Khan, 1990](#)). A Tabela 2 apresenta a análise de regressão ISÁ: TU termo linear, T e TU termos quadráticos de FA; e os termos lineares T, TU e TO, termo quadrático TU, T e termo de interação TO de FF tiveram um efeito significativo ($P < 0,05$) no ISÁ. O termo linear negativo de T de FF e a interação de T e TO indicam que com T alto, a desnaturização de proteínas expõe grupos hidrofóbicos localizados no interior, contribuindo para diminuir a solubilidade ([Ikpeeme et al., 2010](#)).

Otimização

Condições ótimas de extrusão foram obtidas em três diferentes concentrações de óleo para cada dieta; FA (0% TO): 142 °C, 18% TU; IE: 1,04, D: 1042,7 kg/m³, DU: 50 N, IAÁ: 2,67 g/g e, ISÁ: 10,5%; FA (3,5% TO): 131 °C, 18% TU; IE: 1,04, D: 1021,7 kg/m³, DU: 50 N, IAÁ: 2,67 g/g e, ISÁ: 10,9%; FA (7% TO): 120 °C, 18% TU; IE: 1,04, D: 1004,6 kg/m³, DU: 25 N, IAÁ: 2,67 g/g e, ISÁ: 10,4%; FF (0% TO): 121 °C, 14% TU; IE: 1,09, D: 1125 kg/m³, DU: 50 N, IAÁ: 2,34 g/g e, ISÁ: 12,2%; FF (3,5% TO): 120 °C, 16% TU; IE: 1,07, D: 1121,3 kg/m³, DU: 50 N, IAÁ: 2,26 g/g, e, ISÁ: 12%; e, FF (7% TO): 142 °C, 15% TU; IE: 1,02, D: 1101 kg/m³, DU: 50 N, IAÁ: 2,27 g/g e ISÁ: 11,6%. FA com 7% de TO teve o menor DU, enquanto isso não foi observado com FF. Por outro lado, baixo T para FF com alto TO foi necessário em comparação com FA com baixo TO. O FF precisava de alta T para obter características ideais de extrusão, especificamente extrudados com 7% de TO em comparação com dietas com 3 ou 0% de TO. Os resultados da otimização possuem os valores necessários para serem comercializados devido às suas características semelhantes aos produtos comerciais, conforme mostrado em publicações anteriores ([Reyes-Jáquez et al., 2011](#)). A análise química foi realizada no tratamento ideal de FF com 7% de TO: TU: 10,7 ± 0,22, proteína: 17,6 ± 0,63, gordura: 10,7 ± 0,11, fibra: 2,5 ± 0,63 e cinzas: 8,7 ± 0,18 g/100 g.

Digestibilidade *in vitro* e degradabilidade efetiva

DIV de 60,7% ou mais é uma digestibilidade bem aceita ([Coblentz e Hoffman, 2009](#)), colocando FA e FF acima desses valores (Tabela 3). Excluindo ambas as dietas comerciais, todas as dietas tinham DIV variando de 85 a 89% sem diferenças significativas ($P > 0,05$) entre elas. FA contendo 0 ou 3,5% de TO tem um DIV menor

($P < 0,05$) do que ambas as dietas comerciais. FF com 3,5 e 7% de TO teve DIV comparável a ambas as dietas comerciais, concluindo que incorporar óleo de girassol nas dietas extrusadas, aumenta ($P < 0,05$) DIV de FF. A Tabela 3 mostra a degradabilidade potencial (DP) e a DE de todas as dietas. DP descreve a soma das frações solúvel (A) e insolúvel (B), sendo B, o pico máximo de degradabilidade alcançado durante 120 h. A Tabela 3 mostrou que todos os valores de DEs oscilaram entre 87,4 e 90,4% sem diferença significativa ($P > 0,05$), que são valores aceitáveis em comparação com outros relatórios (Reyes-Jáquez *et al.*, 2011). Pode-se concluir que a presença de TO e de fatores antinutricionais não teve diferença significativa no DIV nem no DE, uma vez que foram inativados por T alta e tensão de cisalhamento durante o processamento. Além disso, TO está dentro dos limites permitidos para o consumo de ruminantes (Byers e Schelling, 1993). Extrusão T, TU e TO afetaram negativamente ($P < 0,05$) D e DU de ambas as dietas. No entanto, aumentando T e TO, e TU e TO, aumenta ($P < 0,05$) DU. DIV obtido foi de 89,1 e 86,4% para FF e FA com 7% de TO, respectivamente. As condições ótimas de extrusão obtidas para FF com 7% de TO foram 142 ° C e 15% de TU; enquanto para FA com 7% de TO foram 120 ° C e 18% de TU. DE foi de 87,5 e 87,4% para FF e FA com 7% de TO, respectivamente. Os resultados mostraram que a incorporação do óleo de girassol nas dietas aumenta ($P < 0,05$) a DIV, abrindo assim uma grande oportunidade potencial de produção de altas concentrações de ALC em nível ruminal.

Tabela 3. Coeficientes de regressão não linear de Degradabilidade *In Situ* (DIS) e Degradabilidade Efetiva (DE) de dietas extrudadas de feijão e alfafa em três concentrações de óleo diferentes: 0, 3,5 e 7%.

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

Letras diferentes indicam diferença significativa ($P < 0,05$); Tempos de degradabilidade: 0 - 120 h. A = fração solúvel ou rapidamente degradável, B = fração insolúvel, mas potencialmente degradável, C = taxa de degradação, t = tempo de residência da alimentação, considerado 5% por hora, DP = degradabilidade potencial (A + B), DE = taxa de degradabilidade efetiva a um tempo de residência constante da alimentação no animal (kp) $0,05 \cdot h^{-1}$

CONCLUSÃO

A temperatura de extrusão e o teor de umidade afetaram negativamente ($P < 0,05$) D e DU da ração extrusada para bovinos. Da mesma forma, D e DU diminuíram ($P < 0,05$) nos extrudados, conforme o teor de óleo aumentou. Porém, com o aumento da temperatura de extrusão e do teor de óleo, é possível aumentar ($P < 0,05$) a dureza dos extrudados, bem como aumentar o teor de umidade e óleo. A digestibilidade *in vitro* obtida foi de 89,1% e 86,4% para as dietas de feijão e alfafa, respectivamente. As condições ótimas de extrusão obtidas para ração para bovinos usando resíduos de feijão com 7% de óleo de girassol foram 142 ° C e 15% de

umidade. Já para extrudados contendo alfafa com 7% de óleo de girassol foram 120 °C e 18% de umidade. A degradabilidade *in situ* efetiva foi de 87,5% e 87,4% para as dietas de feijão e alfafa, respectivamente. Os resultados mostraram que a incorporação de óleo de girassol nas dietas extrusadas aumenta ($P < 0,05$) a digestibilidade *in vitro* das dietas de alfafa e feijão extrusado, abrindo uma grande oportunidade potencial para aumentar a produção de ALC orgânico em nível ruminal.

LITRATURA 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

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. 2nd 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

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

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>