



AVALIAÇÃO DO EFEITO DE DIFERENTES CONDIÇÕES DE EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES TECNOFUNCIONAIS DA FARINHA DE MILHO ROXO (cv. INIA-601)

Flor de María Valqui-Pérez^{1,2}, Daniela Edith Igartúa^{3,4}, María Jimena Correa⁵, Marcos Vinicius Flores Miranda Nolasco⁶, Gustavo Costa do Nascimento⁶, Eduardo Silvestre Manave⁶, Thony Arce- Saavedra², María Teresa Pedrosa Silva Clerici^{6*}.

¹ Programa de Doctorado en Ingeniería Agroindustrial, mención Transformación Avanzada de Granos e Tubérculos Andinos, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Áncash, Perú.

² Grupo de Investigación en productos y procesos Agroindustriales (GIIPA), Universidad Nacional Autónoma de Chota, Campus Colpa Huacaris, Chota, Cajamarca, Perú.

³ Universidad Nacional de Quilmes, Departamento de Ciencia y Tecnología, Laboratorio de Investigación en Funcionalidad y Tecnología de Alimentos (LIFTA), Bernal, Buenos Aires, Argentina.

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

⁵ Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CIDCA), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, CIC, CONICET, La Plata, Argentina.

⁶ Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos II, da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Brasil.

*E-mail para correspondência: mcclerici@unicamp.br

RESUMO: O milho roxo peruano apresenta potencial para aplicação em produtos extrusados devido às suas propriedades tecnofuncionais. Neste estudo, avaliou-se o efeito de diferentes condições de extrusão nas propriedades tecno-funcionais da farinha de milho roxo (cv. INIA-601). A farinha foi submetida a duas condições térmicas, suave (60, 70, 90 e 100 °C) e forte (80, 90, 120 e 140 °C), combinadas com três níveis de umidade de alimentação (22, 26 e 30%, base úmida), totalizando seis tratamentos extrusados. Foram avaliadas a umidade final, o índice de solubilidade em água (ISA), a capacidade de absorção de água (IAA), a capacidade de absorção de óleo (IAO), a estabilidade de emulsão (CE) e a capacidade de emulsão (EE), utilizando-se a farinha não extrusada como controle descritivo. Os extrusados apresentaram menor umidade final e, em geral, maiores valores de ISA, IAA e IAO em relação ao controle. O maior valor de ISA foi observado em F30, enquanto S26 se destacou para IAA e IAO. Para ES e EC, F30 apresentou os maiores valores descritivos. Conclui-se que a funcionalidade tecnológica da farinha de milho roxo extrusada depende da combinação entre condição térmica e umidade de alimentação.

Palavras-chave: milho pigmentado; extrusão termoplástica; solubilidade em água; absorção de óleo; estabilidade de emulsão

INTRODUÇÃO

Os milhos pigmentados têm despertado interesse na pesquisa e na indústria de alimentos devido ao seu potencial como ingredientes de valor agregado e às suas características de cor natural e funcionalidade tecnológica (Reyes-Pavón et al., 2024; Bhushan et al., 2024). Entre as tecnologias de processamento de cereais, a extrusão destaca-se por sua versatilidade e por modificar estruturalmente a matriz alimentar, afetando propriedades como cor, solubilidade e interação com água e óleo (Chen et al., 2025). Em milhos pigmentados, estudos recentes indicam que a severidade do processo e as condições de operação influenciam de forma importante as propriedades físicas e

funcionais do produto extrusado (Pejcz et al., 2025; Salvador-Reyes et al., 2023). Nesse contexto, o milho roxo peruano constitui uma matéria-prima de especial interesse. No entanto, ainda é limitada a informação sobre o efeito de diferentes condições de extrusão nas propriedades tecnofuncionais da farinha de milho roxo peruano, especialmente sob diferentes regimes térmicos e níveis de umidade de alimentação. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes condições de extrusão nas propriedades tecnofuncionais da farinha de milho roxo (cv. INIA-601).

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais. Grãos de milho roxo (*Zea mays* L.), cultivar INIA-601, foram adquiridos em Cajamarca, Peru. Após o transporte ao Brasil, o material foi armazenado sob refrigeração e protegido da luz até o início dos ensaios. A umidade inicial do lote total utilizado no estudo foi determinada por balança de umidade por infravermelho, sendo registrado valor de 10,7%.

Procedimento experimental. A farinha foi acondicionada aos níveis de umidade estabelecidos e extrusada em extrusora de dupla rosca co-rotante ZSK-30 (Werner & Pfleiderer, Dinkelsbühl, Alemanha), com matriz de 4,8 mm e rotação de 170–200 rpm. Os extrusados foram secos a 100 °C por 30 min e, posteriormente, moídos e peneirados em mesh 60 para as análises.

Delineamento experimental. O delineamento experimental foi fatorial 2 × 3, com dois fatores: condição térmica de extrusão e umidade de alimentação. Uma amostra de farinha não extrusada foi considerada como controle descritivo. As combinações de tratamento estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições de extrusão avaliadas no estudo

Tratamento	Condição térmica	Temperaturas (°C)	Umidade (%)
Controle	Não extrusada	—	—
S22	Suave	60–70–90–100	22
S26	Suave	60–70–90–100	26
S30	Suave	60–70–90–100	30
F22	Forte	80–90–120–140	22
F26	Forte	80–90–120–140	26
F30	Forte	80–90–120–140	30

Nota: S = condição térmica suave; F = condição térmica forte.

Determinações tecnofuncionais. As determinações analíticas foram realizadas em triplicata. Foram avaliadas a umidade final, o índice de solubilidade em água (ISA), a capacidade de absorção de água (IAA), a capacidade de absorção de óleo (IAO), estabilidade de emulsão (CE) e a capacidade de emulsão (EE), com base nas metodologias descritas por Silva et al. (2022).

Análise estatística. Os dados dos tratamentos extrusados foram submetidos à ANOVA bifatorial, considerando os efeitos de condição térmica, umidade de alimentação e sua interação, com comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises foram realizadas no software Jamovi, versão 2.6.44.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios das propriedades tecnofuncionais da farinha de milho roxo controle e dos tratamentos extrusados são apresentados na Tabela 2. De modo geral, a extrusão promoveu alterações em relação à farinha não extrusada. O controle apresentou maior umidade final e menores valores de ISA, IAA e IAO em relação à maioria dos tratamentos extrusados.

A umidade final foi significativamente influenciada pela condição térmica, pela umidade de alimentação e pela interação entre ambos os fatores ($p < 0,001$). Os tratamentos extrusados apresentaram menor umidade final em relação à farinha controle, variando de 3,37 a 10,31%, enquanto o controle apresentou 13,49%. Essa redução pode estar associada à etapa de secagem posterior à extrusão e é relevante para a interpretação das propriedades tecnofuncionais, uma vez que o teor de água residual pode influenciar a interação da farinha com água, óleo e sistemas emulsificados (Salvador-Reyes et al., 2023; Chen et al., 2025). Entre os tratamentos extrusados, S30 apresentou a maior umidade final, enquanto F26 apresentou o menor valor.

O índice de solubilidade em água (ISA) aumentou nos extrusados em relação ao controle, com efeito significativo da condição térmica, da umidade e da interação entre ambos os fatores ($p < 0,001$). O maior valor foi observado em F30, indicando que maior severidade térmica e maior umidade favoreceram a solubilização do material. Esse comportamento pode estar associado à desorganização da matriz durante a extrusão, com ruptura parcial do amido e formação de dextrinas e outras frações de menor peso molecular e maior solubilidade (Hernández-Santos et al., 2025). A presença de componentes do pericarpo na farinha integral também pode ter contribuído para a resposta observada.

A IAA foi influenciada pela condição térmica e pela interação condição térmica $\times$ umidade ($p < 0,05$), enquanto a umidade isoladamente não foi significativa, com maior valor em S26. Para IAO, observou-se efeito da umidade e da interação entre os fatores ($p < 0,05$), com maiores valores em S26 e F30, sugerindo que a extrusão alterou a interação da farinha com água e óleo (Chen et al., 2025; Pejcz et al., 2025). A CE e a EE apresentaram maiores valores em F30; entretanto, como ambas violaram os pressupostos do modelo paramétrico, sua interpretação deve ser considerada descritiva. Em conjunto, os resultados evidenciam que as propriedades tecnofuncionais da farinha de milho roxo extrusada dependem da combinação entre regime térmico e umidade de alimentação, com destaque para F30 quanto ao ISA, CE e EE, e para S26 quanto à IAA e à IAO.

Tabela 2 – Valores médios das propriedades tecnofuncionais da farinha de milho roxo não extrusada e dos tratamentos extrusados.

Tratamento	Umidade final (%)	ISA (%)	IAA (g água/g amostra)	IAO (g óleo/g amostra)	CE (%)	EE (%)
Controle	13,49 $\pm$ 0,67	3,3 $\pm$ 0,14	1,5 $\pm$ 0,06	1,74 $\pm$ 0,06	4,6 $\pm$ 0,18	21,22 $\pm$ 1,13
S22	5,85 $\pm$ 0,46 c	16,82 $\pm$ 1,14 b	5,16 $\pm$ 0,30 ab	1,35 $\pm$ 0,08 c	2,00 $\pm$ 0,00	10,00 $\pm$ 0,00
S26	8,54 $\pm$ 0,27 b	10,43 $\pm$ 1,10 c	5,94 $\pm$ 0,38 a	2,04 $\pm$ 0,18 a	2,03 $\pm$ 0,05	10,14 $\pm$ 0,24
S30	10,31 $\pm$ 0,14 a	9,69 $\pm$ 0,47 c	5,07 $\pm$ 0,24 b	1,82 $\pm$ 0,21 ab	2,00 $\pm$ 0,04	10,00 $\pm$ 0,20
F22	4,99 $\pm$ 0,29 d	11,12 $\pm$ 0,76 c	5,34 $\pm$ 0,46 ab	1,56 $\pm$ 0,09 bc	4,00 $\pm$ 0,00	10,00 $\pm$ 0,00
F26	3,37 $\pm$ 0,09 e	15,26 $\pm$ 1,23 b	4,78 $\pm$ 0,22 b	1,75 $\pm$ 0,05 ab	4,00 $\pm$ 0,00	10,00 $\pm$ 0,00
F30	4,26 $\pm$ 0,07 d	27,87 $\pm$ 0,16 a	4,78 $\pm$ 0,05 b	1,87 $\pm$ 0,14 ab	11,33 $\pm$ 1,16	19,00 $\pm$ 1,16

Nota: Valores expressos como média $\pm$ desvio-padrão ($n = 3$, exceto para umidade final de F26, $n = 2$).

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), considerando apenas os tratamentos extrusados. O controle foi utilizado como referência descritiva e não foi incluído na análise estatística. S = condição térmica suave; F = condição térmica forte. CE e EE foram interpretadas de forma descritiva devido à violação dos pressupostos do modelo paramétrico.

CONCLUSÃO

As condições de extrusão influenciaram as propriedades tecnofuncionais da farinha de milho roxo (cv. INIA-601). Em comparação com a farinha não extrusada, os tratamentos extrusados apresentaram menor umidade final e, em geral, maiores valores de ISA, IAA e IAO, evidenciando modificações na interação da matriz com água e óleo. Entre os tratamentos extrusados, F30

destacou-se pelo maior ISA e pelos maiores valores descritivos de CE e EE, enquanto S26 apresentou os maiores valores de IAA e IAO. Assim, a combinação entre condição térmica e umidade de alimentação mostrou-se determinante para direcionar a funcionalidade tecnológica da farinha de milho roxo extrusada.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação Tecnológica (CONCYTEC) e ao Programa Nacional de Pesquisa Científica e Estudos Avançados (PROCIENCIA), pelo apoio concedido nos processos PE501089848–2024 e PE501084298–2023. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Código de Financiamento 001, processo nº 88887.829982/2023-00, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos nº 140834/2023-0 e nº 312660/2023-5. Ao Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos II, da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), pelo suporte ao desenvolvimento experimental deste estudo. Ao Ângelo Roberto Biasi, pelo auxílio técnico e apoio durante a etapa de extrusão.

REFERÊNCIAS

BHUSHAN, B.; KUMAR, S.; KAUR, C.; DEVI, V.; CHAUDHARY, D. P.; SINGH, A.; DAGLA, M. C.; KARJAGI, C. G.; SALEENA, L. A. K.; CHANDRAN, D.; KUMAR, M. Beyond colors: The health benefits of maize anthocyanins. *Applied Food Research*, v. 4, n. 1, p. 100399, 2024. DOI: 10.1016/j.afres.2024.100399.

CHEN, J.; LIU, Q.; ZHAO, S.; GUO, L.; ZHUANG, X.; CHEN, X.; TAO, T.; DING, C. Effect of extrusion processing on the structural, functional, and physicochemical properties of wheat and wheat-based products: a review. *Food Physics*, v. 2, p. 100050, 2025. DOI: 10.1016/j.foodp.2025.100050.

HERNÁNDEZ-SANTOS, B.; RODRÍGUEZ-MIRANDA, J.; JUÁREZ-BARRIENTOS, J. M.; TORRUCO-UCO, J. G.; RAMÍREZ-RIVERA, E. J.; HERMAN-LARA, E.; GÓMEZ-ALDAPA, C. A.; GONZÁLEZ-GARCÍA, A. Physicochemical and techno-functional properties of extruded corn starch snacks enriched with Huitlacoche (*Ustilago maydis*): effects of extrusion parameters and process optimization. *Processes*, v. 13, n. 9, p. 2898, 2025. DOI: 10.3390/pr13092898.

PEJ CZ, E.; TIUPOVA, A.; LACHOWICZ-WIŚNIEWSKA, S.; WIŚNIEWSKI, R.; WOJCIECHOWICZ-BUDZISZ, A.; HARASYM, J. Mild extrusion enhances bioactive retention and starch digestibility in pigmented corn: phenotype-dependent effects for functional food development. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 104, p. 104165, 2025. DOI: 10.1016/j.ifset.2025.104165.

REYES-PAVÓN, D.; SOTO-SIGALA, K. S.; CANO-SAMPEDRO, E.; MÉNDEZ-TRUJILLO, V.; NAVARRO-IBARRA, M. J.; PÉREZ-PASTÉN-BORJA, R.; OLVERA-SANDOVAL, C.; TORRES-MARAVILLA, E. Pigmented native maize: unlocking the potential of anthocyanins and bioactive compounds from traditional to functional beverages. *Beverages*, v. 10, n. 3, p. 69, 2024. DOI: 10.3390/beverages10030069.

SALVADOR-REYES, R.; CORREA DE BRITO, A. D.; SAMPAIO, U.; DE MENEZES ALVES MORO, T.; PEDROSA SILVA CLERICI, M. T.; BEHRENS, J. Exploring the perception and sensory acceptance of a Peruvian purple maize breakfast cereal by Brazilian consumers. *Scientia Agropecuaria*, v. 14, n. 1, p. 7-19, 2023. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2023.001.

SILVA, C. M. et al. *Guia para caracterização tecnológica-funcional de ingredientes proteicos para o mercado de produtos de origem vegetal*. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2022.