

OTIMIZAÇÃO TECNOLÓGICA E NUTRICIONAL DE MUFFINS FUNCIONAIS FORMULADOS COM CAÑIHUA GERMINADA E MASHUA NEGRA UTILIZANDO UM DELINEAMENTO DE MISTURAS SIMPLEX-CENTROIDE COM RESTRIÇÃO

Suny C. LUERA-QUIÑONES^{1*}; Rebeca SALVADOR- REYES¹; Edward F. AURORA-VIGO¹; Hans MINCHÁN-VELAYARCE¹; María JIMENA-CORREA²; Nathalia A. NEVES³; Marcio SCHMIELE³; Luz M. PAUCAR-MENACHO⁴

¹Programa de Doctorado en Ingeniería Agroindustrial mención Transformación Avanzada de Granos y Tubérculos Andinos, Universidad Nacional del Santa, Chimbote 02712, Perú; 2024818018@uns.edu.pe; rsalvador@uns.edu.pe; 2024818002@uns.edu.pe

²Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CIDCA), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), 47 y 116, La Plata, CP 1900, Argentina. mjcorrea@biol.unlp.edu.ar

³Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina 39100-000, Brasil; nathalia.neves@ufvjm.edu.br; marcio.sc@ict.ufvjm.edu.br

⁴Departamento Académico de Agroindustria y Agronomía, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Chimbote 02712, Perú; Departamento Académico de Agroindustria y Agronomía, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Chimbote 02712, Perú; luzpaucar@uns.edu.pe

*E-mail para correspondência: 2024818018@uns.edu.pe

RESUMO: O desenvolvimento de produtos de panificação funcionais tem despertado crescente interesse devido à incorporação de cultivos andinos com elevado valor nutricional. O presente estudo teve como objetivo otimizar a formulação de muffins por meio da substituição parcial da farinha de trigo (HT) por farinha de mashua negra (HMN) e farinha de cañihua germinada (HCG), utilizando um delineamento de misturas. Foram elaboradas 14 formulações variando as proporções de HT (70-100%), HMN (0-25%) e HCG (0-25%). Foram avaliadas propriedades físicoquímicas (pH, umidade e atividade de água), tecnológicas (volume específico, textura, cor e estrutura do miolo) e funcionais (compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante). Os modelos de regressão apresentaram alta significância ($p < 0,05$) e adequados coeficientes de determinação (R^2 até 0,99), evidenciando a influência das proporções das farinhas sobre as respostas avaliadas. A incorporação de HMN e HCG aumentou significativamente os compostos fenólicos, flavonoides e a capacidade antioxidante (ORAC e FRAP), enquanto níveis elevados afetaram determinadas propriedades tecnológicas. Foram identificadas duas formulações ótimas (PO1: HT 72,4%, HMN 21,4% e HCG 6,2%; e PO2: HT 75,2%, HMN 12,4% e HCG 12,4%) que equilibraram o valor funcional e a qualidade do produto. Esses resultados demonstram o potencial dos cultivos andinos no desenvolvimento de produtos de panificação funcionais por meio de ferramentas de otimização.

Palavras-chave: Capacidade antioxidante; Compostos bioativos; Ingredientes andinos; Muffins funcionais; Otimização.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos mais saudáveis e funcionais impulsionou a reformulação de produtos tradicionais de panificação, geralmente caracterizados por elevado teor de

carboidratos refinados e gorduras, além de baixo teor de fibras alimentares e de compostos bioativos (Bassett et al., 2025). Nesse contexto, a cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) destacase pelo aporte de proteínas, fibras alimentares e compostos fenólicos (Luque-Vilca et al., 2024), enquanto a mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) constitui importante fonte de antocianinas e antioxidantes (Arteaga-Cano et al., 2022). Aliado a isso, a germinação melhora as propriedades nutricionais e funcionais dos pseudocereais, aumentando o conteúdo e a biodisponibilidade de compostos fenólicos e antioxidantes, bem como reduzindo fatores antinutricionais (Guardianelli et al., 2022).

Diversos estudos demonstraram que a substituição parcial da farinha de trigo por farinhas andinas melhora o perfil nutricional; entretanto, níveis elevados de substituição podem afetar negativamente propriedades tecnológicas, como volume específico, estrutura do miolo e textura (Gutiérrez-Castillo et al., 2022). Nesse contexto, o uso de delineamentos de misturas e funções de desejabilidade permite otimizar formulações e avaliar as interações entre ingredientes (Paucar-Menacho et al., 2024). Assim, o objetivo deste trabalho foi otimizar a formulação de muffins funcionais elaborados com farinha de cañihua germinada e farinha de mashua negra por meio de um delineamento de misturas, avaliando suas propriedades físico químicas, tecnológicas e funcionais, a fim de identificar uma formulação ótima que equilibrasse o valor nutricional e a qualidade final do produto.

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais

Foram utilizadas cañihua da variedade Cupi e mashua negra. As sementes de cañihua foram fornecidas pelo Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA - EEA Illpa, CE Salcedo, Puno, Peru), enquanto os tubérculos de mashua negra foram fornecidos pela Asociación de Productores Agropecuarios CUGUID (Cajamarca, Peru). A farinha de cañihua germinada (HCG) foi obtida por meio de processos de seleção, desinfecção, imersão, germinação controlada (20 °C/72 h), secagem (40 °C), moagem e peneiramento (0,20 mm). A farinha de mashua negra (HMN) foi obtida por meio de seleção, escaldamento (80 °C/4 min), desidratação (40 °C/30 h), moagem e peneiramento.

Procedimento experimental

Foi aplicado um delineamento de misturas Simplex-Centroide com restrição utilizando o software Design-Expert versão 13. Foram formulados 14 tratamentos variando as proporções de HT (70-100%), HMN (0-25%) e HCG (0-25%). Os muffins foram elaborados pelo método de dois estágios (fase creme e massa), seguido de assamento a 120 °C durante 20 min e posterior resfriamento.

O pH foi determinado pelo método potenciométrico (NTP 209.059) e a acidez titulável por titulação com NaOH 0,1 N (NTP 206.013). A composição proximal foi determinada por métodos AOAC e AACCI, o volume específico pelo método de deslocamento de sementes (AACCI 10-05.01) e a atividade de água (aw) utilizando equipamento AQUALAB 4TE a 25 °C. O perfil de textura foi avaliado utilizando texturômetro Brookfield CT3. Os compostos bioativos (fenólicos solúveis totais, flavonoides e proantocianidinas) foram determinados por métodos espectrofotométricos, e a capacidade antioxidante pelos ensaios FRAP e ORAC. A cor instrumental foi avaliada no sistema CIE-Lab (L^* , a^* , b^*), calculandose ΔE^* , e a estrutura interna foi avaliada por análise de imagem para determinar número de células, tamanho de poro, circularidade e porosidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

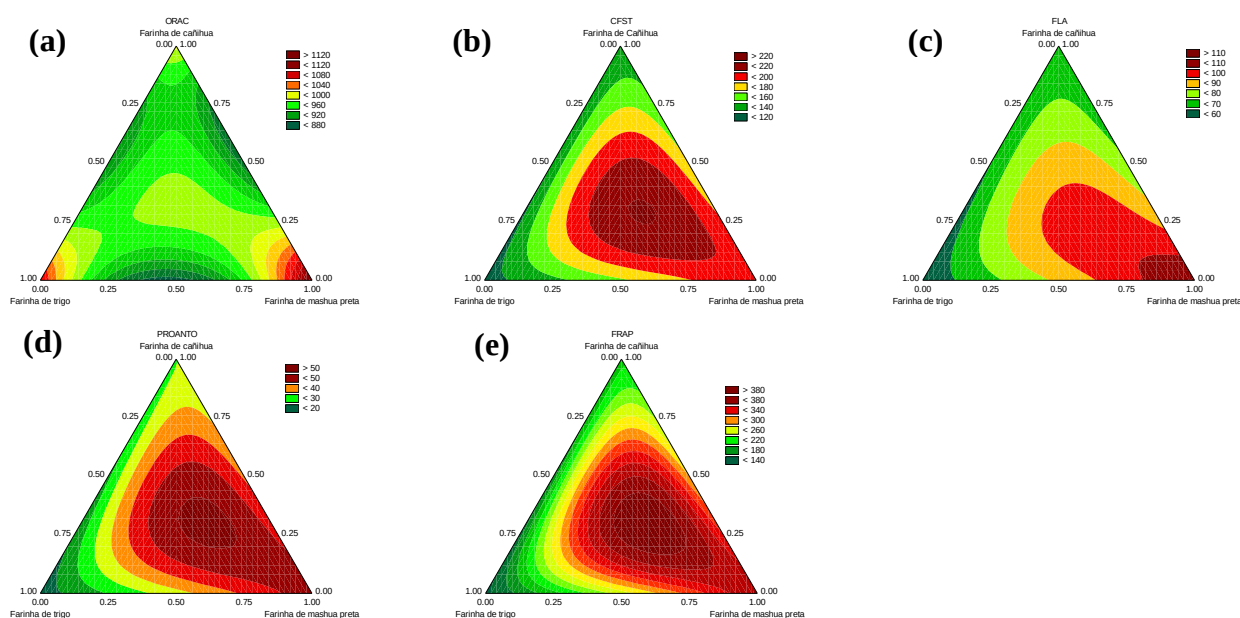
Os modelos de regressão evidenciaram que a formulação afetou principalmente a cor instrumental e a fração funcional dos muffins. Os parâmetros internos e externos foram significativamente influenciados pelas proporções de HMN e HCG ($p < 0,05$), destacandose L^* do miolo ($R^2 = 0,9565$) e os parâmetros a^* , b^* e índice de escurecimento e cor da crosta, com coeficientes



de determinação acima de 0,97. A incorporação de HMN reduziu a luminosidade e intensificou tonalidades avermelhadas e escuras devido aos pigmentos e compostos fenólicos presentes nas farinhas andinas. Esse comportamento é coerente com estudos em muffins elaborados com cultivos andinos, nos quais a incorporação de farinhas não convencionais produziu produtos mais escuros, com diminuição de L^* e aumento de a^* (Salazar et al., 2021).

Os compostos bioativos e a capacidade antioxidante foram significativamente influenciados pelas misturas (Figura 1), destacando-se os flavonoides ($R^2 = 0,9627$), ORAC ($R^2 = 0,8956$) e FRAP ($R^2 = 0,8921$), evidenciando a contribuição funcional de HMN e HCG. Comportamento semelhante foi reportado para mashua negra como fonte de fenóis, antocianinas e glucosinolatos (Medina-Marroquín et al., 2023). Nas propriedades físicoquímicas, a acidez titulável total foi significativa ($p < 0,001$; $R^2 = 0,9507$), enquanto umidade, a_w e volume específico não apresentaram diferenças significativas, coincidindo com relatos em produtos de panificação com farinhas andinas (Gutiérrez-Castillo et al., 2022). As propriedades texturais não apresentaram efeito significativo; entretanto, a porosidade foi significativa ($p = 0,001$; $R^2 = 0,8124$), indicando alterações estruturais no miolo sem afetar a estabilidade textural. Em muffins elaborados com farinhas andinas, Vidaurre-Ruiz et al. (2022) relataram que essas farinhas geram matrizes mais complexas devido à presença de proteínas e fibras ao redor dos grânulos de amido. O processo de otimização permitiu identificar duas formulações ótimas: PO1 (72,4% HT, 21,4% HMN e 6,2% HCG) com desejabilidade global de 0,816, e PO2 (75,2% HT, 12,4% HMN e 12,4% HCG), as quais equilibraram adequadamente as propriedades tecnológicas e funcionais dos muffins.

Figura 1 – Superfícies de resposta dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante em muffins formulados por delineamento de misturas



Nota: As superfícies de resposta mostram o efeito das proporções de farinha de trigo (X_1), farinha de mashua negra (X_2) e farinha de caíhuia germinada (X_3) sobre ORAC (a, $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g}$); compostos fenólicos solúveis totais - CFST (b, $\text{mg EAG}/100\text{ g}$); flavonoides totais - FLA (c, $\text{mg EQ}/100\text{ g}$); proantocianidinas - PROANTO (d, $\text{mg EC}/100\text{ g}$); e capacidade antioxidante FRAP (e, $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$). As cores representam a magnitude da resposta (verde: menores respostas; vermelho: maiores respostas).

CONCLUSÃO

O delineamento de misturas apresentou efeitos significativos ($p < 0,05$); dentre as 40 variáveis avaliadas, 18 respostas foram significativas, permitindo identificar formulações ótimas: PO1 (72,4% HT, 21,4% HMN e 6,2% HCG) e PO2 (75,2% HT, 12,4% HMN e 12,4% HCG). A incorporação de

mashua negra e cañihua germinada melhorou as propriedades funcionais dos muffins sem afetar significativamente as principais variáveis tecnológicas.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pelo Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) e pelo Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PROCIENCIA), por meio da chamada E077-2023-01-BM “Becas para Programas de Doctorado en Alianzas Interinstitucionales”, protocolo PE501091469-2024, e da chamada E033-2023-01-BM “Colaboraciones Interinstitucionales para Programas de Doctorado”, protocolo PE501084298-2023. Agradecimentos ao CNPq pela bolsa produtividade de M. S. (312759/2025-8).

REFERÊNCIAS

- ARTEAGA-CANO, D.; CHACÓN-CALVO, L.; SAMAMÉ-HERRERA, V.; VALVERDE-CERNA, D.; PAUCAR-MENACHO, L. M. Mashua (*Tropaeolum tuberosum*): Composición nutricional, características químicas, compuestos bioactivos y propiedades beneficiosas para la salud. *Agroindustrial Science*, v. 12, n. 1, p. 95–101, 2022. DOI: <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.12>
- BASSETT, M. N.; ACUÑA, M. E.; CORRAL, L.; MORENO, E. del C.; FERNÁNDEZ, N. N.; ROSSI, A. M.; GÓMEZ MARIGLIANO, A. C.; TERESCHUK, M. L. Optimization of muffins nutrient profile using wheat, beans and quinoa flours: a preliminary strategy for enhancing protein quality, dietary fibre and anti-oxidative potentials. *Plant Foods for Human Nutrition*, v. 80, p. 124, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-025-01359-y>.
- GUARDIANELLI, L. M.; SALINAS, M. V.; BRITES, C.; PUPPO, M. C. Germination of white and red quinoa seeds: Improvement of nutritional and functional quality of flours. *Foods*, v. 11, n. 20, p. 3272, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11203272>.
- GUTIERREZ-CASTILLO, C.; ALCÁZAR-ALAY, S.; VIDAURRE-RUIZ, J.; CORREA, M. J.; CABEZAS, D. M.; REPO-CARRASCO-VALENCIA, R.; ENCINA-ZELADA, C. R. Effect of partial substitution of wheat flour by quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) flours on dough and bread quality. *Food Science and Technology International*, v. 29, n. 6, p. 619–630, 2022. <https://doi.org/10.1177/10820132221106332>
- LUQUE-VILCA, O. M.; PAREDES-ERQUINIGO, J. Y.; QUILLE-QUILLE, L.; CHOQUE-RIVERA, T. J.; CABEL-MOSCOSO, D. J.; RIVERA-ASHQUI, T. A.; SILVA-PAZ, R. J. Utilization of sustainable ingredients (cañihua flour, whey, and potato starch) in gluten-free cookie development: Analysis of technological and sensorial attributes. *Foods*, v. 13, n. 10, p. 1491, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13101491>
- MEDINA-MARROQUÍN, L. A.; YUCRA-CONDORI, H. R.; GÁRATE, J.; MENDOZA, C.; DEFLORIO, E. Effect of heat processing on bioactive compounds of dehydrated (lyophilized) purple mashua (*Tropaeolum tuberosum*). *Scientia Agropecuaria*, v. 14, n. 3, p. 321–333, 2023. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.028>
- PAUCAR-MENACHO, L. M.; SIMPALO-LOPEZ, W. D.; CASTILLO-MARTÍNEZ, W. E.; ESQUIVEL-PAREDES, L. J.; MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C.; SCHMIELE, M. Optimization of rheological properties of bread dough with substitution of wheat flour for whole grain flours from germinated Andean pseudocereals. *Ciência Rural*, v. 54, n. 11, e20220402, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220402>
- SALAZAR, D.; ARANCIBIA, M.; SILVA, D. R.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; MONTERO, M. P. Exploring the potential of Andean crops for the production of gluten-free muffins. *Agronomy*, 2021, 11, 1642. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081642>
- VIDAURRE-RUIZ, J.; YURIVILCA VARGAS, R. J.; ALCÁZAR-ALAY, S.; ENCINA-ZELADA, C. R.; CABEZAS, D. M.; CORREA, M. J.; REPO-CARRASCO-VALENCIA, R. Andean crops: kañiwa and tarwi flours used for the development of vegan gluten-free muffins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2022. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12094>