



DELINEAMENTO SIMPLEX-CENTROIDE COM RESTRIÇÕES REVELA O POTENCIAL BIOATIVO DE MASSAS ALIMENTÍCIAS SECAS ENRIQUECIDAS COM TARWI E OCA

Edward F. AURORA-VIGO^{1*}; Luis H. de SOUZA²; Rebeca SALVADOR-REYES³; Suny C. LUERA-QUÍÑONES¹; Hans H. MINCHÁN-VELAYARCE¹; Jorge CORONADO-OLANO¹; Luz M. PAUCAR-MENACHO⁴; Marcio SCHMIELE⁵

¹Doutorando(a), Programa de Doctorado en Ingeniería Agroindustrial mención Transformación Avanzada de Granos y Tubérculos Andinos, Universidad Nacional del Santa (UNS), Perú

²Graduando, Laboratório Integrado de Cereais e Lipídeos (LICEL), Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Brasil.

³Professora, Programa de Doctorado en Ingeniería Agroindustrial mención Transformación Avanzada de Granos y Tubérculos Andinos, Universidad Nacional del Santa (UNS), Perú.

⁴Professora, Departamento Académico de Agroindustria y Agronomía, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa (UNS), Perú.

⁵Professor, Laboratório Integrado de Cereais e Lipídeos (LICEL), Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Brasil.

*E-mail para correspondência: 2024818002@uns.edu.pe

RESUMO: As massas alimentícias secas representam uma matriz alimentar de amplo consumo e adequada estabilidade, sendo apropriadas para a incorporação de ingredientes andinos com valor funcional e promovendo a soberania alimentar. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinhas integrais de *tarwi* (*Lupinus mutabilis*) e *oca* (*Oxalis tuberosa*) sobre o conteúdo de compostos fenólicos solúveis totais (CFST), flavonoides, proantocianidinas e capacidade antioxidante pelo método FRAP. Foram formuladas massas tipo fettuccine por meio de um delineamento de misturas com restrições, considerando 65-90% de farinha de trigo e 5-30% de cada farinha andina. As amostras foram elaboradas por extrusão convencional, secas, cozidas, liofilizadas e analisadas por métodos espectrofotométricos. Os modelos ajustados apresentaram alta capacidade explicativa para CFST, proantocianidinas e FRAP, com R² de 0,9151, 0,9793 e 0,9956, respectivamente. A formulação ótima, composta por 65% de farinha de trigo, 5% de farinha de tarwi e 30% de farinha de oca, superou o controle (100% farinha de trigo) em todas as respostas avaliadas, atingindo 91,91 mg EAG/100 g, 115,28 mg EQ/100 g, 37,34 mg EC/100 g e 120,14 mg ET/100 g para fenólicos solúveis totais, flavonoides, proantocianidinas e FRAP, respectivamente (em base seca). Conclui-se que a incorporação de *tarwi* e *oca* incrementou o potencial bioativo das massas alimentícias secas, destacando-se a *oca* como principal contribuinte para os fenólicos solúveis e a capacidade antioxidante, evidenciando o potencial desses cultivos para o desenvolvimento de produtos alimentícios básicos com maior valor funcional.

Palavras-chave: alimentos funcionais, desejabilidade, tremoço, lupino, saudabilidade.

INTRODUÇÃO

As massas alimentícias secas são matrizes amiláceas de amplo consumo, aceitabilidade e estabilidade, adequadas para a incorporação de ingredientes não convencionais com potencial funcional (Melini, V.; Melini, F.; Acquistucci, 2020; Sissons, 2022). Nesse contexto, o *tarwi* e a *oca* são cultivos andinos subutilizados com potencial bioativo, devido à presença de compostos fenólicos e antioxidantes naturais (Aurora-Vigo *et al.*, 2025; Estivi *et al.*, 2022). No entanto, a incorporação conjunta dessas farinhas em massas alimentícias secas ainda tem sido pouco estudada, especialmente sob a abordagem de delineamento de misturas, ferramenta que permite modelar o efeito individual e interativo dos ingredientes em sistemas formulados (SQUEO *et al.*, 2021). Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da substituição parcial da farinha de trigo (FT) por farinhas integrais de *tarwi* (FL) e de *oca* (FO) sobre os fenólicos solúveis totais, flavonoides, proantocianidinas e a

capacidade antioxidante pelo método FRAP em massas alimentícias secas, visando identificar formulações com maior potencial bioativo.

MATERIAL E MÉTODOS

Acondicionamento das matérias-primas

As matérias-primas frescas de *oca* e *tarwi* foram selecionadas, lavadas e desinfetadas com solução clorada a 150 ppm. A oca foi cortada em rodela e submetida ao branqueamento a 80 °C por 4 min. Posteriormente, ambas as matérias-primas foram desidratadas em secador de bandejas com circulação de ar quente a 40 °C por 30 h, moídas e peneiradas até a obtenção de farinhas com granulometria $\leq 250 \mu\text{m}$.

Elaboração das massas alimentícias secas

As formulações foram estabelecidas por meio de um delineamento de misturas Simplex-Centroide com restrições, considerando FT, FL e FO como pseudocomponentes. A FT variou entre 65-90%, enquanto as FL e FO variaram entre 5-30%. Foram elaboradas 13 formulações experimentais e um controle com 100% de FT, utilizando 450 g de mistura seca por lote. A água adicionada foi calculada com base na umidade inicial e no índice de absorção de água de cada formulação. As misturas foram homogeneizadas em misturadora planetária Turbo PHP500 (Philco, Manaus, Brasil) por 3 min, submetidas a repouso por 7 min e processadas em extrusora AELI-720 (Braesi, Caxias do Sul, Brasil), utilizando matriz tipo *fettuccine* com 32 aberturas de 7,5 mm de largura e 2,5 mm de espessura. As massas foram secas a 50 °C por 2 h, com umidade relativa aproximada de 55%, e posteriormente a 60 °C por 1 h, até atingir umidade uniforme (10%).

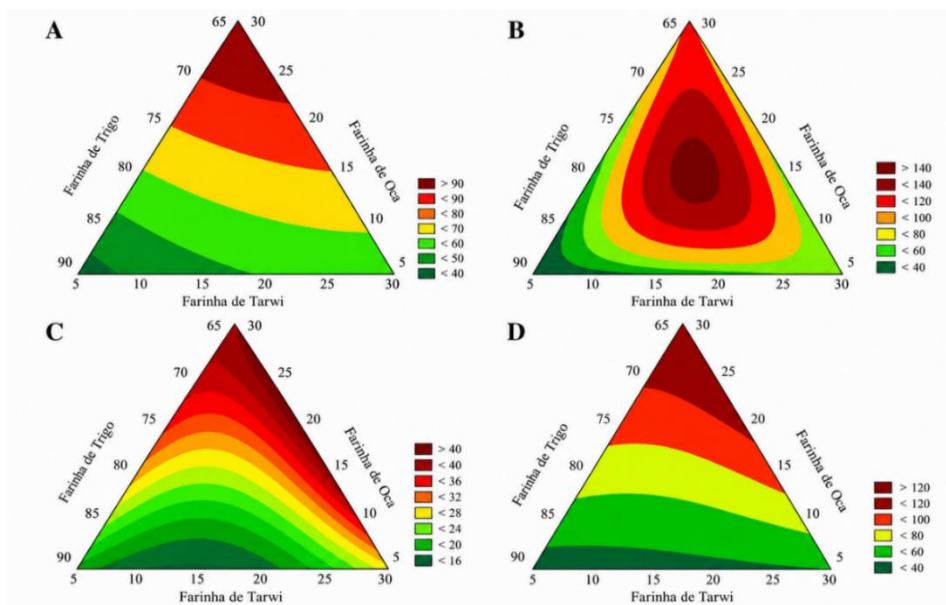
Avaliação de compostos bioativos e de capacidade antioxidante

As massas alimentícias secas foram cozidas de acordo com seu tempo ótimo de cocção, congeladas, liofilizadas e moídas. A extração foi realizada com solução metanol:água destilada:ácido clorídrico (320:80:2), utilizando 200 mg de amostra e 1,5 mL de solução extratora, submetidas à sonicação (40 kHz, 100 W) por 10 min e centrifugação a 10.000 RCF por 10 min. Os CFST foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu a 750 nm; os flavonoides totais pelo método $\text{NaNO}_2\text{-AlCl}_3\text{-NaOH}$ a 510 nm; as proantocianidinas pelo método vanilina-HCl a 500 nm; e a capacidade antioxidante pelo método FRAP a 593 nm (Lima *et al.*, 2023). Os resultados foram expressos em base seca como equivalentes de ácido gálico, quercetina, catequina e Trolox, respectivamente. Os dados foram ajustados por modelos de regressão para delineamento de misturas no software Statistica v13.5, e a significância foi avaliada por ANOVA a $p < 0,10$ e $R^2 > 0,80$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, estão apresentadas as curvas de contorno do delineamento de misturas para CFST, flavonoides totais (FVT), proantocianidinas (PAC) e capacidade antioxidante pelo método FRAP. Os modelos ajustados apresentaram elevada capacidade explicativa para CFST, PAC e FRAP, com valores de R^2 de 0,9151, 0,9793 e 0,9956, respectivamente; enquanto FVT apresentou ajuste moderado ($R^2 = 0,8329$), sugerindo maior influência das interações entre os componentes. As curvas de contorno evidenciaram que os maiores valores de CFST e FRAP se concentraram na região com maior proporção de FO, confirmando a contribuição deste tubérculo como predominante para o potencial antioxidante. Em contraste, FVT e PAC apresentaram respostas mais associadas às regiões intermediárias do delineamento, indicando possível efeito combinado entre FT, FL e FO. Esse comportamento é coerente com a aplicação do delineamento de misturas para avaliar efeitos individuais e interativos em formulações alimentícias multicomponentes (Squeo *et al.*, 2021).

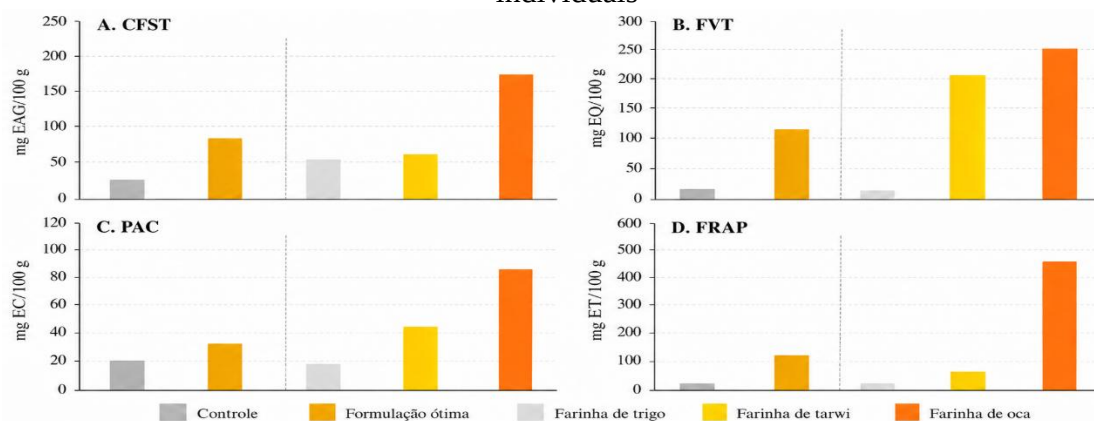
Figura 1 – Gráficos de contorno do delineamento de misturas para compostos bioativos e capacidade antioxidante de massas alimentícias secas elaboradas com farinhas de trigo, tarwi e oca



Nota: A = compostos fenólicos solúveis totais, mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/100 g; B = flavonoides totais, mg de equivalente de quercetina (EQ)/100 g; C = proantocianidinas, mg de equivalente de catequina (EC)/100 g; D = capacidade antioxidante pelo método FRAP, mg de equivalente de Trolox (ET)/100 g. Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 2 compara o perfil bioativo da massa controle, da formulação ótima e das farinhas individuais. A formulação ótima, composta por 65% de FT, 5% de FL e 30% de FO, superou o controle em todas as respostas avaliadas, destacando-se os incrementos de CFST, FVT, PAC e FRAP. Esse comportamento evidencia que a substituição parcial da FT por farinhas andinas melhorou o potencial bioativo da massa alimentícia seca pronta para o consumo. A maior contribuição da FO pode ser atribuída à presença de ácidos fenólicos, flavan-3-óis, flavonas e antocianinas reportados em *Oxalis tuberosa* (Aurora-Vigo *et al.*, 2025), enquanto a resposta de FVT pode estar relacionada ao perfil fenólico do tarwi, cujos compostos livres são constituídos majoritariamente por flavonoides.

Figura 2 – Comparação do perfil bioativo da massa controle, formulação ótima e farinhas individuais



Nota: A.CFST = compostos fenólicos solúveis totais, mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/100 g; B. FVT = flavonoides totais, mg de equivalente de quercetina (EQ)/100 g; C.PAC = proantocianidinas, mg de equivalente de catequina (EC)/100 g; D.FRAP = capacidade antioxidante pelo método FRAP, mg de equivalente de Trolox (ET)/100 g. Fonte: Elaborada pelos autores.

Embora as farinhas puras tenham apresentado maiores valores que a formulação ótima, especialmente a FO para CFST, PAC e FRAP, o incremento em relação ao controle confirma a viabilidade do uso de tarwi e oca como ingredientes funcionais em massas alimentícias secas, conforme observado em produtos de massa enriquecidos com matrizes vegetais ricas em polifenóis (Melini, V.; Melini, F.; Acquistucci, 2020).

CONCLUSÃO

A substituição parcial da farinha de trigo por farinhas integrais de *tarwi* e *oca* incrementou os compostos bioativos e a capacidade antioxidante das massas alimentícias secas, destacando-se a formulação com 65% de trigo, 5% de tarwi e 30% de oca. Esses resultados evidenciam o potencial dos cultivos andinos para o desenvolvimento de massas com maior valor funcional, recomendando-se estudos futuros sobre qualidade tecnológica, digestibilidade e aceitação sensorial.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pelo Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) y pelo Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PROCIENCIA) a través da convocatória E077-2023-01-BM «Becas para Programas de Doctorado en Colaboraciones Interinstitucionales», com número de protocolo PE501091538-2024, e pela convocatória E033-2023-01-BM «Colaboraciones Interinstitucionales para Programas de Doctorado», com número de protocolo PE501084298-2023. Al CNPq pela bolsa produtividade concedida à M.S. (#312759/2025-8).

REFERÊNCIAS

- AURORA-VIGO, E. F.; PAUCAR-MENACHO, L. M.; ANAYA-ESPARZA, L. M.; SCHMIELE, M. Oca (*Oxalis tuberosa* Mol.): an Andean tuber with promising physicochemical, technological and nutritional properties for potential industrial applications. *Plant Foods for Human Nutrition*, v. 80, n. 4, p. 179, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-025-01427-3>.
- ESTIVI, L.; GRASSI, S.; BRICEÑO-BERRÚ, L.; GLORIO-PAULET, P.; CAMARENA, F.; HIDALGO, A.; BRANDOLINI, A. Free phenolic compounds, antioxidant capacity and FT-NIR survey of debittered *Lupinus mutabilis* seeds. *Processes*, v. 10, n. 8, p. 1637, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10081637>.
- LIMA, C. T.; SANTOS, T. M.; NEVES, N. A.; LAVADO-CRUZ, A.; PAUCAR-MENACHO, L. M.; CLERICI, M. T. P. S.; MEZA, S. L. R.; SCHMIELE, M. New breakfast cereal developed with sprouted whole ryegrass flour: evaluation of technological and nutritional parameters. *Foods*, v. 12, n. 21, p. 3902, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12213902>.
- MELINI, V.; MELINI, F.; ACQUISTUCCI, R. Phenolic compounds and bioaccessibility thereof in functional pasta. *Antioxidants*, v. 9, n. 4, p. 343, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox9040343>.
- SISSONS, M. Development of novel pasta products with evidence based impacts on health: a review. *Foods*, v. 11, n. 1, p. 123, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11010123>.
- SQUEO, G.; DE ANGELIS, D.; LEARDI, R.; SUMMO, C.; CAPONIO, F. Background, applications and issues of the experimental designs for mixture in the food sector. *Foods*, v. 10, n. 5, p. 1128, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10051128>.