

## OTIMIZAÇÃO DA GERMINAÇÃO DE *KAÑIWA* POR METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA: Obtenção de farinha germinada com maximização de compostos nutricionais e bioativos

Hans H. MINCHÁN-VELAYARCE<sup>1\*</sup>; Edward F. AURORA-VIGO<sup>1</sup>;  
Sunny C. LUERA-QUIÑONES<sup>1</sup>; Jorge CORONADO-OLANO<sup>1</sup>; Luz María Paucar-Menacho<sup>2</sup>;  
Nathalia A. NEVES<sup>3</sup>; Julio VIDAURRE-RUIZ<sup>4</sup>; Marcio SCHMIELE<sup>5</sup>

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

<sup>2</sup> Professora, Departamento Académico de Agroindustria y Agronomía, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa (UNS), Perú.

<sup>3</sup> Professora, Faculdade de Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias (FCA), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Brasil.

<sup>4</sup> Professor, Centro de Investigación e Innovación en Productos Derivados de Cultivos Andinos (CIINCA), Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Perú.

<sup>5</sup> Professor, 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: 2024818010@uns.edu.pe

**RESUMO:** A *kañiwa* é um pseudocereal andino com alto teor de compostos bioativos e potencial documentado como matéria-prima, porém carente de protocolos validados de germinação orientados à maximização desses compostos. Este estudo objetivou otimizar o tempo (24–96 h) e a temperatura (18–30 °C) de germinação de *kañiwa* cv. Cupi por meio de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), visando à obtenção de farinha germinada com maximização simultânea de ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA), compostos fenólicos solúveis totais (CFST) e capacidade antioxidante (ORAC, FRAP, ABTS<sup>+</sup>). Os modelos polinomiais de segunda ordem foram ajustados por ANOVA, otimizados e validados. A otimização multivariada pela função de desejabilidade indicou condições ótimas de 96 h e 25,9 °C, com desejabilidade global de 0,848, resultando em valores preditos de 708,98 mg EAG/100 g para CFST, 25,29 mg/100 g para GABA, 1.514,50  $\mu$ mol ET/100 g para FRAP e 7.190,66  $\mu$ mol ET/100 g para ABTS<sup>+</sup>. A germinação otimizada produziu farinha de *kañiwa* com perfil bioativo significativamente incrementado.

**Palavras-chave:** biotecnologia; compostos fenólicos; pseudocereal andino; superfície de resposta.

## INTRODUÇÃO

A *kañiwa* (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) é cultivada entre 3.800 e 4.400 m de altitude, apresentando 85,71 mg GAE/100 g de CFST, 1.509,80  $\mu$ g Trolox/100 g de capacidade antioxidante e 12,8% de proteína, com qualidade comparável à caseína em estado não germinado (Abderrahim et al., 2012). As características físico-funcionais da farinha de *kañiwa*, como a elevada absorção de água e a baixa temperatura de gelatinização do amido, conferem aptidão para panificação sem glúten (Silvera-Otañe et al., 2026). O perfil nutricional da semente de *kañiwa* pode ser incrementado através do processo da germinação, um processo biotecnológico que ativa sistemas enzimáticos que catalisam a síntese de GABA, CFST e antioxidantes: em quinoa (a 20 °C por 42 h), os CFST aumentaram 1,8 vezes e o ORAC 130% (Paucar-Menacho et al., 2018); em *kañiwa* (a 20 °C por 72 h), o TEAC aumentou 27% (Abderrahim et al., 2012). A farinha germinada de *kañiwa* incorporada a extrudados elevou CFST, GABA e ORAC em até 9 vezes (Paucar-Menacho et al., 2022). No entanto, ainda não

há protocolos validados de otimização de germinação para *kañiwa* com enfoque em aplicação em panificação. O objetivo deste estudo foi otimizar condições de germinação de *kañiwa* cv. Cupi , maximizando os teores de GABA, CFST, capacidade antioxidante e proteínas.

### MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de *kañiwa* (*C. pallidicaule* Aellen) cv. Cupi (INIA — EEA Illpa, Salcedo, Puno, Peru) com viabilidade >90% foram desinfetadas em NaClO 0,1% (1:5 m/v, 30 min), enxaguadas até pH neutro e embebidas 1:5 (m/v) por 8 h. A germinação foi conduzida em germinador programável (MAQUILAK BJPX-HT40011) a 80% de UR, na ausência de luz, sendo as variáveis independentes (tempo –  $x_1$  e temperatura –  $x_2$ ) avaliadas por um Delineamento Composto Central Rotacional (Tabela 1). Após a germinação, as amostras foram secas a 40–45 °C por 72 h, moídas, embaladas a vácuo e armazenadas a 4–8 °C. Os CFST foram determinados por Folin–Ciocalteu; a capacidade antioxidante foi determinada por ORAC-FL, FRAP e ABTS<sup>++</sup>; o GABA foi quantificado por RP-HPLC; e a proteína pelo método de Dumas. Os dados foram ajustados a modelos polinomiais de segunda ordem por ANOVA ( $p \leq 0,10$ ;  $R^2 > 0,75$ ) e otimizados por função de desejabilidade.

**Tabela 1** – Matriz do Delineamento Composto Central Rotacional e resultados experimentais das variáveis dependentes para o processo de germinação da *kañiwa* cv. Cupi

| Ens. | $x_1$ | $x_2$ | CFST (mg EAG/100 g) | ABTS <sup>++</sup> (μmol ET/100 g) | ORAC (μmol ET/100 g) | FRAP (μmol ET/100 g) | GABA (mg/100 g) | Prot (%) |
|------|-------|-------|---------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|----------|
| 1    | –1    | –1    | 592,15              | 5.283,82                           | 33.323,28            | 937,40               | 9,96            | 18,89    |
| 2    | 1     | –1    | 753,67              | 4.231,94                           | 41.057,76            | 1.514,44             | 11,50           | 21,47    |
| 3    | –1    | 1     | 689,25              | 8.814,75                           | 42.720,91            | 1.230,72             | 9,29            | 20,25    |
| 4    | 1     | 1     | 703,95              | 7.047,53                           | 44.824,52            | 1.484,15             | 23,38           | 22,39    |
| 5    | –1,41 | 0     | 557,06              | 7.844,68                           | 28.303,05            | 913,39               | 6,41            | 19,06    |
| 6    | +1,41 | 0     | 702,86              | 7.449,83                           | 52.652,67            | 1.451,47             | 22,58           | 23,27    |
| 7    | 0     | –1,41 | 590,00              | 5.766,66                           | 41.380,62            | 1.166,11             | 6,44            | 20,16    |
| 8    | 0     | +1,41 | 606,38              | 8.568,33                           | 37.393,22            | 1.147,75             | 19,42           | 17,41    |
| 9    | 0     | 0     | 729,31              | 7.829,05                           | 32.687,23            | 1.460,85             | 10,99           | 22,43    |
| 10   | 0     | 0     | 717,48              | 7.402,91                           | 21.793,19            | 1.428,14             | 10,43           | 22,55    |
| 11   | 0     | 0     | 727,38              | 7.844,68                           | 18.522,89            | 1.450,11             | 13,77           | 22,27    |

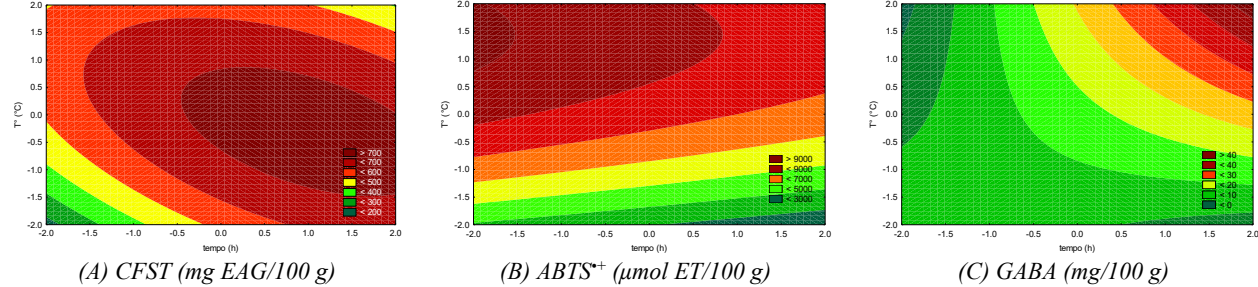
Legenda:  $x_1$  = tempo de germinação (24 a 96 h);  $x_2$  = temperatura de germinação (18 a 30 °C); CFST = compostos fenólicos solúveis totais; EAG = equivalente ácido gálico; ABTS<sup>++</sup> = ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico); ET = equivalente trolox; ORAC = capacidade de absorção de radicais de oxigênio; FRAP = poder antioxidante de redução férrica; GABA = ácido γ-aminobutírico; Prot = proteínas. Valores expressos com média ± desvio padrão e apresentados em base seca.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos polinomiais de segunda ordem apresentaram coeficientes de determinação entre 0,764 (ORAC) e 0,946 (GABA), confirmando adequação preditiva. Para GABA ( $R^2 = 0,946$ ;  $R^2\text{-adj} = 0,892$ ) e FRAP ( $R^2 = 0,915$ ;  $R^2\text{-adj} = 0,830$ ) os modelos foram mais robustos. Para CFST ( $R^2 = 0,783$ ) e ABTS<sup>++</sup> ( $R^2 = 0,787$ ) o ajuste foi moderado, mas significativo ( $p < 0,10$ ). O tempo exerceu efeito linear positivo dominante sobre CFST ( $\beta_1 = 47,86$ ), FRAP ( $\beta_1 = 199,24$ ), GABA ( $\beta_1 = 4,82$ ) e proteína ( $\beta_1 = 1,34$ ), sendo consistente com o reportado para quinoa (Paucar-Menacho et al., 2018) e amaranto (Paucar-Menacho et al., 2017). O acúmulo progressivo de GABA com o tempo reflete a

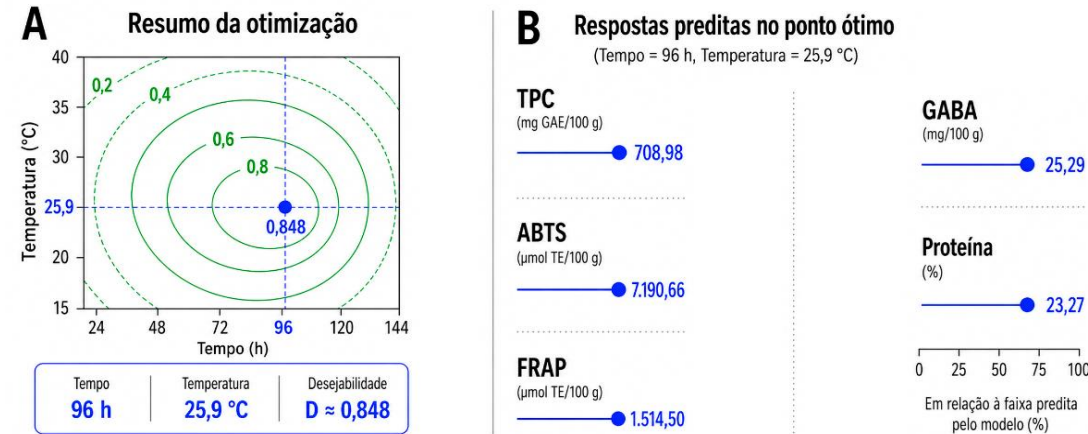
ativação contínua da glutamato descarboxilase (GAD), cuja expressão proteica aumenta de forma tempo-dependente, com incremento de 1,77–2,25 vezes entre os estágios G36 e G120 (Chua et al., 2019). O incremento de CFST está associado à atividade da fenilalanina amônia-liase (PAL), enzima limitante da via fenilpropanoide, cuja expressão aumentou 1,51–1,77 vezes no mesmo intervalo (Chua et al., 2019). A temperatura exibiu efeito quadrático negativo sobre CFST, FRAP e ABTS<sup>++</sup>, indicando ponto ótimo interno, consistente com o declínio da atividade de GAD em temperaturas superiores a 35–40 °C (Paucar-Menacho et al., 2017). A interação  $x_1x_2$  significativa para GABA e CFST evidencia atuação sinérgica entre temperatura e tempo sobre esses sistemas enzimáticos. As curvas de contorno (Figura 1) mostram que o máximo de CFST e FRAP se concentra em tempo alto ( $x_1 > 0,5$ ) e temperatura moderada ( $x_2 \approx 0-0,5$ ), em níveis codificados; o GABA aumentou progressivamente com ambos os fatores; o ABTS<sup>++</sup> é maximizado à temperaturas altas e tempo moderado.

Figura 1 – Curvas de contorno ajustadas: (A) CFST, (B) ABTS<sup>++</sup>, (C) GABA, em função do tempo ( $x_1$ ) e temperatura ( $x_2$ ) codificados de germinação de *kañiwa* cv. Cupi.



A otimização multivariada pela função de desejabilidade (Figura 2) identificou condições ótimas de 96 h ( $x_1 = 1,41$ ) e 25,9 °C ( $x_2 = 0,663$ ), com desejabilidade global de 0,848. Os valores preditos foram: CFST = 708,98 mg EAG/100 g, ABTS<sup>++</sup> = 7.190,66 μmol ET/100 g, FRAP = 1.514,50 μmol ET/100 g, GABA = 25,29 mg/100 g e proteína = 22,57%. O CFST predito supera o reportado para quinoa otimizada (488,75 mg EAG/100 g; Paucar-Menacho et al., 2018) e representa incremento de 728% em relação à *kañiwa* não germinada (85,71 mg EAG/100 g; Abderrahim et al., 2012). O GABA predito (25,29 mg/100 g) supera o máximo experimental (23,38 mg/100 g, ensaio 4). A farinha germinada de *kañiwa* otimizada qualifica-se como matéria-prima funcional para panificação sem glúten (Silvera-Otañe et al., 2026; Paucar-Menacho et al., 2022).

Figura 2 – Perfis de desejabilidade para otimização simultânea de CFT, ABTS, FRAP, GABA e proteína de *kañiwa* cv. Cupi. Condições ótimas: 96 h / 25,9 °C; desejabilidade global = 0,848



## CONCLUSÃO

Os modelos polinomiais ajustados ( $R^2$  de 0,764 a 0,946) descreveram adequadamente o efeito do tempo e da temperatura de germinação sobre os compostos bioativos de kañiwa cv. Cupi. As condições ótimas de 96 h e 25,9 °C (desejabilidade = 0,848) resultaram em CFT = 708,98 mg GAE/100 g, GABA = 25,29 mg/100 g e FRAP = 1.514,50  $\mu$ mol TE/100 g — valores superiores aos reportados para pseudocereais germinados sem otimização. O tempo de germinação exerceu efeito linear positivo dominante sobre todas as respostas, enquanto a temperatura apresentou efeito quadrático negativo sobre CFT, FRAP e ABTS, evidenciando a existência de um ponto ótimo térmico dentro do intervalo experimental. A farinha germinada obtida constitui o primeiro ingrediente funcional de kañiwa com protocolo cientificamente otimizado para aplicação em panificação sem glúten. Estudos futuros devem validar experimentalmente as condições ótimas preditas e avaliar o impacto da farinha germinada de kañiwa nas propriedades tecnológicas e sensoriais de produtos panificados sem glúten.

## AGRADECIMENTOS

Financiamento: CONCYTEC/PROCIENCIA, convocatórias E077-2023-01-BM (PE501089261- 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 convocatória E077-2023-01-BM “Becas para Programas de Doctorado en Colaboraciones Interinstitucionales” (subvenção n.º PE501089261-2024) e da convocatória E033-2023-01-BM “Colaboraciones Interinstitucionales para Programas de Doctorado” (subvenção n.º PE501084298-2023). Ao CNPq pela bolsa de produtividade concedida a M.S. (#312759/2025-8).

## REFERÊNCIAS

- ABDERRAHIM, F. et al. Effect of germination on total phenolic compounds and antioxidant capacity in canihua (*Chenopodium pallidicaule*). *Journal of Cereal Science*, v. 56, n. 2, p. 410–417, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.04.013>
- CHUA, C. et al. Biochemical and functional changes in germinating Chinese wild rice (*Zizania latifolia*) during germination. *Food Chemistry*, v. 289, p. 635–644, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.092>
- PAUCAR-MENACHO, L. M. et al. Optimising germination conditions to enhance bioactive compounds in sprouted quinoa. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 53, n. 2, p. 481–489, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13620>
- PAUCAR-MENACHO, L. M. et al. Sprouted grain flour in corn grits-based extrudates: nutritional and bioactive properties. *Foods*, v. 11, n. 20, 3259, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11203259>
- SILVERA-OTÁÑE, G. P.; MORALES-CONTRERAS, D.; JIMÉNEZ-COLMENARES, M. Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen): technological processing and food applications. *Plant Foods for Human Nutrition*, v. 81, 35, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-026-01289-z>