

COVER PAGE IN ENGLISH

(solo para artículos en español, portugués o francés)

Optimization of the sensory and nutritional quality of a whole wheat bread made with the addition of sprouted wheat flour (*Triticum aestivum* L.)

Emigdio Vargas Villena¹; Genaro Christian Pesantes Arriola²; Jacqueline Roxana Reaño Rivera³; Bertha Milagros Villalobos Meneses⁴; Víctor Alexis Higinio Rubio⁵; Guisella Magaly Orellana Berrocal⁶; Lucy Emilia Torres Carrera⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Universidad Nacional del Callao, Perú, evargasv@unac.edu.pe, gcpesantesa@unac.edu.pe, jrreanor@unac.edu.pe, bmvillalobosm@unac.edu.pe, vahiginior@unac.edu.pe, gmorellanab@unac.edu.pe, letorresc@unac.edu.pe.

Abstract– The incorporation of germinated wheat flour (HTG) in the production of whole wheat bread represents a promising strategy to improve the nutritional and functional properties of this basic food and is also considered a strategy for a healthy diet for the population. The objective of this work was to determine the impact of incorporating an optimal percentage of germinated wheat flour (HTG) on the rheological properties of the dough, as well as on the nutritional and sensory quality of whole wheat bread. The results showed that the addition of HTG significantly modified the rheological behavior for water absorption (AA-56.2 g), gluten weakening (DG-0.217 Nm), stability (S-5.50 min), dough development time (DT -53.9 min), with the treatments with 8% and 15% being the closest to the control. Furthermore, the inclusion of 15% HTG increased the levels of protein (11.61g), iron (5.77mg) and folic acid (163.01 µg) in the bread, improving its nutritional profile. Sensory properties, such as color, smell, flavor and texture, were also favored at 15%, resulting in a bread with acceptable attributes comparable to 100% wheat bread. In general, it was found that the optimal replacement of HTG is 15% for rheological, sensory and nutritional properties. These findings suggest that HTG may be a viable alternative for the production of more nutritious and functional breads.

Keywords-- Germinated wheat flour (HTG), Rheological properties, Nutritional quality, Whole wheat bread, Optimization.

Optimización de la calidad sensorial y nutricional de un pan molde integral elaborado con adición de harina de trigo germinada

Emigdio Vargas Villena¹; Genaro Christian Pesantes Arriola²; Jacqueline Roxana Reaño Rivera³; Bertha Milagros Villalobos Meneses⁴; Víctor Alexis Higinio Rubio⁵; Guisella Magaly Orellana Berrocal⁶; Lucy Emilia Torres Carrera

^{1,2,3,4,5,6,7}Universidad Nacional del Callao, Perú, evargasv@unac.edu.pe, gcpesantesa@unac.edu.pe, jrreanor@unac.edu.pe, bmvillalobosm@unac.edu.pe, vahiginior@unac.edu.pe, gmorellanab@unac.edu.pe, letorresc@unac.edu.pe.

Resumen– La incorporación de harina de trigo germinada (HTG) en la elaboración de pan de molde integral constituye una estrategia prometedora para mejorar las propiedades nutricionales y funcionales de este alimento básico, además de contribuir a una alimentación más saludable de la población. El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de la incorporación de un porcentaje óptimo de HTG sobre las propiedades reológicas de la masa, así como sobre la calidad nutricional y sensorial del pan de molde integral. Los resultados evidenciaron que la adición de HTG modificó significativamente el comportamiento reológico de la masa, particularmente en la absorción de agua (AA: 56.2 g), el debilitamiento del gluten (DG: 0.217 Nm), la estabilidad (S: 5.50 min) y el tiempo de desarrollo de la masa (DT: 53.9 min), siendo las formulaciones con 8% y 15% de HTG las que presentaron valores más cercanos al control. Asimismo, la inclusión del 15% de HTG incrementó significativamente el contenido de proteína (11.61 g), hierro (5.77 mg) y ácido fólico (163.01 µg) en el pan, mejorando su perfil nutricional. En cuanto a las propiedades sensoriales, los atributos de color, aroma, sabor y textura se vieron favorecidos con la incorporación del 15% de HTG, obteniéndose un producto con niveles de aceptabilidad comparables al pan elaborado con harina de trigo convencional. En conjunto, los resultados indican que una sustitución del 15% de HTG representa la formulación óptima para mejorar las propiedades reológicas, sensoriales y nutricionales del pan de molde integral. Estos hallazgos sugieren que la HTG constituye una alternativa viable para la producción de panes con mayor valor nutricional y funcional.

Palabras clave– Trucha arco iris, escala QUIM, vida útil, hielo funcional.

I. INTRODUCCIÓN

En estudios recientes se ha evidenciado que los consumidores de distintas regiones del mundo muestran una creciente conciencia respecto a los hábitos alimentarios y a la adopción de dietas saludables. La pandemia global ocasionada por la COVID-19 ha intensificado esta tendencia, incrementando la demanda de alimentos con alto contenido de proteínas, fibra dietaria, aminoácidos, vitaminas y minerales, además de una adecuada digestibilidad [1–4].

La germinación, inducida mediante la rehidratación de la semilla, mejora significativamente el valor nutricional del

trigo al incrementar la bioaccesibilidad de diversos nutrientes, tales como aminoácidos, fibra dietaria, vitaminas y minerales. Asimismo, múltiples estudios han demostrado que este proceso reduce la presencia de compuestos antinutricionales, entre ellos el ácido fítico, lectinas, saponinas, inhibidores de tripsina y taninos [5–10]. De manera complementaria, otros autores han señalado que la germinación favorece la biodisponibilidad de nutrientes y el contenido de compuestos bioactivos, mejora las propiedades funcionales y disminuye sustancias antinutritivas, lo que convierte a los granos germinados en ingredientes atractivos para una alimentación saludable [11–13].

El pan, como alimento básico ampliamente consumido a nivel mundial, representa una matriz adecuada para el enriquecimiento nutricional mediante la incorporación de harinas provenientes de granos germinados. En los últimos años, la mayoría de los productos formulados con ingredientes germinados han correspondido a snacks (22%), harinas (19%) y productos de panadería (15%) [14]. La germinación del trigo —que involucra el endospermo, el germen y el salvado— modifica su funcionalidad y composición nutricional, observándose una disminución en el contenido de carbohidratos y un ligero aumento en el contenido lipídico, asociado principalmente al transporte de vitamina E. Asimismo, se ha reportado un incremento en la extractabilidad de minerales como calcio (Ca), cobre (Cu), hierro (Fe), potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na) y zinc (Zn), con aumentos particularmente significativos en Ca y Fe [5, 9, 15–20].

En respuesta a la problemática de la desnutrición y a la elevada demanda de pan, uno de los principales desafíos actuales consiste en desarrollar alimentos de bajo costo, fácil acceso y con valor nutricional mejorado, que contribuyan a la salud de los consumidores. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue optimizar la calidad sensorial y nutricional de un pan de molde integral elaborado con la adición de harina de trigo germinado, con el fin de obtener un producto con características mejoradas y mayor valor funcional [21–23].

II. MATERIALES Y MÉTODO

A. *Materias primas:* el trigo de la variedad Ollanta (*Triticum aestivum* L.) fue obtenido del caserío de Tablacucho, distrito de Sorochuco, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca, Perú. Con el fin de eliminar agentes contaminantes, los granos fueron sometidos a un prelavado con agua potable a temperatura ambiente. Posteriormente, las semillas se acondicionaron mediante remojo durante 24 h y se sometieron a un proceso de germinación bajo condiciones controladas de oscuridad, a una temperatura de 20 °C y humedad relativa constante del 80%, durante un período de 4 días, de acuerdo con lo reportado por diversos autores [5, 9, 16, 24–26].

Finalizada la germinación, los granos se secaron a temperatura ambiente utilizando energía solar durante 2 días, hasta alcanzar un contenido de humedad final entre 8 y 12%. La harina de trigo germinado (HTG) se obtuvo mediante la molienda de los granos en un molino de martillos (YAMAHA, serie QY170E-20220915719), operado a una velocidad constante de 20 000 rpm y equipado con una malla de 8 mm de diámetro de partícula. Los demás ingredientes y equipos necesarios para la elaboración de los panes integrales fueron proporcionados por la empresa Centro de Producción de Bienes Unión.

B. *Diseño de investigación:* con el objetivo de determinar los niveles aceptables de incorporación de harina de trigo germinado (HTG) en la formulación de pan de molde integral, se empleó un diseño central compuesto centrado en las caras (DCC), tal como se muestra en la Tabla 1. Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza unidireccional (ANOVA), y la comparación de medias se realizó utilizando el valor p del modelo lineal, considerando diferencias estadísticamente significativas cuando $p < 0.05$. Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó el programa estadístico MINITAB Statistical Software 21.1.0.

Tabla 1.

Matriz para la elaboración de pan con harina de trigo germinado.

Tratamientos	Variables Independientes	
	% de harina de trigo	% de harina de trigo germinada
1	1 (85)	1 (8)
2	1 (90)	0 (10)
3	1 (92)	-1 (15)
4	0 (90)	0 (20)
5	-1 (85)	1 (22)
6	-1 (85)	-1 (15)
7	0 (85)	0 (15)
8	0 (78)	-1 (15)

9	0 (85)	0 (15)
10	0 (85)	0 (15)
11	-1 (80)	0 (20)
12	0 (80)	1 (10)
13	0 (85)	0 (15)

C. *Composición nutricional:* las características nutricionales de las trece muestras experimentales y de la muestra patrón se determinaron mediante métodos analíticos internacionales estandarizados, específicos para cada parámetro. El contenido de proteína (%) se cuantificó mediante el método Kjeldahl, conforme a la norma COVENIN 1195-80 [27]. La grasa total (%) se determinó utilizando el método Soxhlet, de acuerdo con la norma NMX-F-615-NORMEX-2018 y el método AOAC 920.85/2000 [28]. El contenido de fibra (%) se evaluó mediante el método AACC 32-10.01 (2000) [29]. La humedad (%) se determinó según el método AACC 44-01.01 (2000) [30]. El contenido de cenizas (%) se cuantificó conforme a los métodos AACC 08-01.01 (2009) y NMX-F-066-S-1978 [31]. El ácido fólico se determinó mediante el método AOAC 978.10/60 [28], mientras que el contenido de hierro (%) se analizó utilizando el método AOAC 985.35 y la norma NOM-117-SSA1-1994.

D. *Prueba reológica:* el efecto del proceso de germinación sobre las propiedades termomecánicas de la masa se evaluó mediante un equipo Mixolab, siguiendo el protocolo Chopin Standard y el método estándar ICC 173 [32]. Para cada análisis se emplearon 50 g de muestra [33]. Los parámetros determinados incluyeron: (1) absorción de agua (AA, %), (2) debilitamiento del gluten (DG, Nm), (3) tiempo de desarrollo de la masa (DT, min) y (4) estabilidad (S, min), de acuerdo con lo reportado en la literatura [33–35].

E. *Prueba Sensorial:* las trece muestras de pan fueron sometidas a una prueba sensorial de aceptabilidad con la participación de 50 panelistas semi-entrenados. Los evaluadores analizaron los atributos de olor, color, sabor, textura, volumen y aceptabilidad global de las muestras, utilizando una escala hedónica, de acuerdo con los métodos recomendados en la literatura [36, 37].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. *Análisis reológico:* los análisis se realizaron de acuerdo con el diseño experimental, incluyendo una muestra control elaborada con harina patrón. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con el fin de evaluar la significancia estadística del ajuste de los modelos matemáticos obtenidos para cada tratamiento, conforme al diseño central compuesto (DCC).

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos mediante el análisis Mixolab. En general, todos los

tratamientos mostraron valores inferiores en comparación con el tratamiento control. En el caso de la absorción de agua (AA), los tratamientos que presentaron valores más cercanos al control fueron los tratamientos 1 y 2, seguidos de los tratamientos 6, 9, 10 y 13, los cuales evidenciaron reducciones de entre 4 y 7% respecto al control. Para el debilitamiento del gluten (DG), los tratamientos 1, 9 y 12 mostraron los valores más próximos al control, seguidos de los tratamientos 2, 4, 6 y 7, mientras que el resto presentó reducciones más pronunciadas. En cuanto a la estabilidad de la masa (S), los tratamientos 2 y 13 mostraron los valores más cercanos al control, seguidos de los tratamientos 1, 8, 9 y 12; los demás tratamientos presentaron valores inferiores. Respecto al tiempo de desarrollo de la masa (DT), los tratamientos 5, 6, 11, 12 y 13 fueron los más próximos al control, seguidos de los tratamientos 3, 4 y 7, mientras que el resto mostró menores valores.

Tabla 2.
Análisis reológico de los tratamientos con harina de trigo germinado.

Tratamientos	Absorción de agua (g/100g)	Debilitamiento de gluten (Nm)	Estabilidad (min)	Tiempo de desarrollo de la masa (min)
1	57,6	0,243	6,30	45,0
2	57,3	0,225	6,90	53,4
3	55,6	0,211	5,50	54,0
4	55,5	0,223	5,40	54,0
5	55,2	0,174	5,90	54,2
6	56,2	0,229	5,80	54,2
7	55,5	0,226	5,80	54,0
8	55,6	0,199	6,20	53,9
9	56,2	0,230	6,00	53,9
10	56,2	0,217	5,50	53,9
11	55,8	0,205	5,00	54,4
12	55,6	0,238	6,10	54,6
13	56,2	0,206	6,40	54,2
Control	59,9	0,386	9,70	56,5

En la Tabla 3 se observa que los parámetros reológicos absorción de agua (AA) y debilitamiento del gluten (DG) resultaron estadísticamente significativos tanto para el modelo general como para el modelo lineal, con valores de $p < 0.05$. Asimismo, la interacción entre la harina de trigo y la harina de trigo germinado (HTG) mostró significancia únicamente para el parámetro AA.

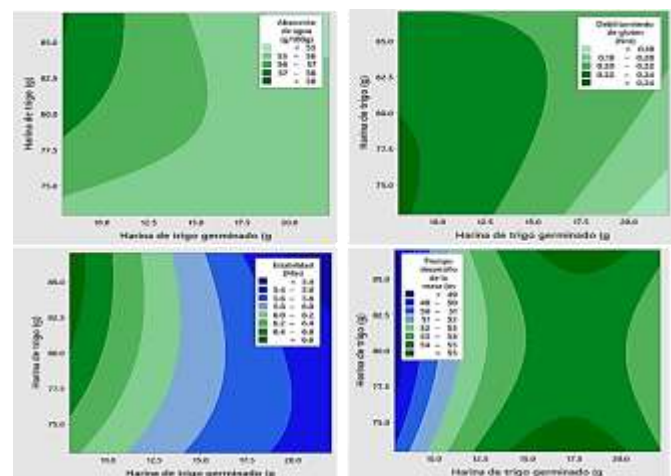
En la Figura 1 se evidencia que un elevado porcentaje de sustitución con HTG afecta de manera significativa los parámetros reológicos AA, DG y estabilidad de la masa

(S). No obstante, para el tiempo de desarrollo de la masa (DT), el nivel óptimo de sustitución difiere, lo que indica un comportamiento distinto frente al incremento de HTG. Los resultados sugieren que, para obtener mejores características reológicas de la masa, es recomendable trabajar con niveles de sustitución inferiores al 11%. En comparación, la muestra control presentó valores considerablemente más altos que las formulaciones con HTG, lo que confirma el efecto del proceso de germinación sobre las propiedades reológicas de la masa.

Tabla 3.
Resumen de análisis de varianza del DCC de los resultados a los parámetros reológicos de los panes formulados con harina de trigo y harina de trigo germinado.

Probabilidad	Absorción de agua (g/100g)	Debilitamiento de gluten (Nm)	Estabilidad (min)	Tiempo de desarrollo de la masa (min)
P-valor del modelo	0,013	0,036	0,398	0,188
Lineal	0,006	0,014	0,130	0,147
P-valor HT	0,003	0,005	0,050	0,054
P-valor HTG	0,241	0,604	0,880	0,814
P-valor HT – HTG	0,036	0,314	0,687	0,855
R ²	82,74	78,01	46,15	59,39

Figura 1.
Grafica de contornos de absorción de agua, debilitamiento de gluten, estabilidad de la masa, tiempo desarrolló de la masa.



La dependencia de los parámetros reológicos de la harina de trigo (HT) con la incorporación de harina de trigo germinado (HTG) fue estadísticamente significativa para la absorción de agua (AA) y el debilitamiento del gluten (DG), con valores de $p < 0.05$ y coeficientes de determinación (R^2) de 0.8274 y 0.7801, respectivamente. En contraste, los parámetros tiempo de desarrollo de la

masa (DT) y estabilidad (S) mostraron una dependencia parcial, siendo significativos ($p < 0.05$) únicamente para la harina de trigo, mientras que el efecto de la HTG no resultó significativo ($p > 0.05$), con valores de R^2 de 0.4615 y 0.5939, respectivamente. El coeficiente de determinación (R^2) se define como la proporción de la variación total de la variable respuesta explicada por el modelo de regresión [40]. En este sentido, valores de R^2 superiores a 0.75 indican que el modelo describe adecuadamente la variabilidad de la variable respuesta, lo cual respalda la validez de los modelos obtenidos para los parámetros AA y DG [34, 39, 41, 42].

La incorporación de harina de trigo germinado (HTG) reduce la capacidad de hidratación de la harina en comparación con la harina de trigo panadero. Las harinas provenientes de granos germinados presentan una menor absorción de agua en las masas que contienen HTG [5, 43–45]. Esta reducción se atribuye a cambios en la red de gluten y en la estructura del almidón durante la germinación, los cuales liberan agua atrapada dentro de los gránulos de almidón, afectando así la hidratación de la masa [46]. En este sentido, [47] reportaron una disminución del 4.5 % en la absorción de agua (AA) respecto al control, mientras que [48] indicaron que la harina de trigo suplementada con 15 % de HTG presentó una AA 3.4 % menor que el control. La hidratación de la masa aumenta cuando la calidad de las proteínas formadoras de gluten es alta y disminuye cuando estas proteínas presentan menor calidad, lo cual concuerda con los valores observados en la Tabla 2. Esta reducción también se relaciona con la activación de enzimas como amilasas, lipasas y proteasas durante la germinación, que afectan directamente la AA [49].

En cuanto al debilitamiento del gluten (DG), este parámetro se ve influenciado tanto por el nivel de sustitución con HTG como por la temperatura a la que se somete la masa [50]. Diversos autores señalan que la disminución del DG se debe principalmente a la sustitución de harina de trigo por HTG, ya que la germinación altera la composición de gliadinas y gluteninas, recomendándose un reemplazo máximo de 15 a 50 % en panificación [10, 51]. La incorporación de HTG debilita la estabilidad del gluten, sugiriendo que panes con características físicas óptimas se obtienen con sustituciones cercanas al 15 % [45].

Respecto a la estabilidad de la masa (S), estudios previos indican que esta está relacionada con el estado de las proteínas insolubles, las cuales se debilitan durante la fricción mecánica. La sustitución parcial de harina de trigo reduce la estabilidad, ya que la degradación del gluten por las proteasas presentes en la HTG genera una matriz proteica más débil, afectando la hidratación, el tiempo de desarrollo de la masa (DT) y la estabilidad general [10, 15, 39]. Asimismo, un mayor tiempo de desarrollo de la masa

se asocia con una masa más fuerte [53]. La sustitución con HTG disminuye el DT, indicando que las mezclas de harinas son más débiles que la harina control, debido a la reducción de proteínas panificables y al incremento de aminoácidos de fácil digestión generados durante la germinación [34, 54]. Además, se ha observado que a medida que aumenta la sustitución, el tiempo de amasado disminuye hasta un 30 % en comparación con el control [55].

Los parámetros AA (g/100 g), DG (Nm), S (min) y DT (min) dependen principalmente de la fuerza del gluten de la harina y su resistencia a las fuerzas de amasado. Un mayor tiempo de amasado, una mayor absorción de agua y una mayor estabilidad indican gluten fuerte. En contraste, la sustitución con HTG debilita la red de gluten y disminuye la viscosidad máxima de la masa, efecto que también se relaciona con el daño del almidón [34, 43, 56]. No obstante, se ha reportado que sustituciones del 15 % de HTG permiten mejorar los valores de AA, DG, S y DT [43]. Por otra parte, algunos investigadores recomiendan trabajar con granos germinados durante 12 a 24 h, ya que este rango de germinación no afecta negativamente las propiedades reológicas de la masa y, al mismo tiempo, mejora su valor nutricional [10].

B. Análisis nutricional: el análisis nutricional se llevó a cabo después de la elaboración de los trece lotes de pan de molde fortificados y de un lote de pan convencional. Cada muestra fue procesada en un laboratorio especializado, donde se determinaron los contenidos de proteína, grasa, cenizas, carbohidratos, hierro y ácido fólico.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de la composición proximal de los panes. Los datos evidencian que la incorporación de harina de trigo germinado (HTG) influye significativamente en el perfil nutricional, tanto en comparación con el control como entre los distintos tratamientos. En general, los panes elaborados con HTG mostraron un mejor perfil nutricional, destacando incrementos en proteína, hierro y ácido fólico. En el tratamiento óptimo, con 15 % de HTG, se observó un aumento significativo de proteína (0,31 g), ácido fólico (163,01 μ g) e hierro (7,49 mg) en comparación con el pan control.

Estudios previos han demostrado que la germinación incrementa el valor nutricional de los granos, mejorando el contenido de aminoácidos, hierro y ácido fólico, al tiempo que reduce los compuestos antinutricionales [15, 57]. La sustitución con harina de trigo germinado (HTG) mostró un aumento significativo en proteína, hierro y ácido fólico ($P \leq 0,05$). Composiciones nutricionales similares se han reportado en productos elaborados con harinas de pseudocereales, las cuales son ricas en ácido γ -aminobutírico (GABA) y compuestos fenólicos totales

(TSPC), y presentan una absorción de agua (AA) más alta en comparación con el control ($P \leq 0,05$) [11, 58, 59]. De manera consistente, otros autores han señalado que durante la germinación de trigo y cebada se incrementa la concentración de proteínas, lípidos libres, ácido fólico, carotenoides, fenoles conjugados y ligados, así como la capacidad antioxidante de los granos. Además, mencionan que la sustitución óptima de harina de trigo germinado para la elaboración de galletas y panes oscila entre 15 % y 20 %, mientras que la de harina de cebada germinada varía entre 5 % y 10 % [9, 15, 22, 60–64].

Tabla 4.

Composición proximal del pan molde integral con sustitución parcial de harina de trigo germinado (100g).

Tratamiento	Energía (kcal)	Carbohidratos (g)	Proteínas (g)	Humedad (g)	Cenizas (g)	Grasa Total (g)	Hierro (mg)	Ácido fólico (µg)
1	283,60	48,24	11,34	32,87	2,53	5,03	4,49	--
2	290,07	49,76	11,46	31,09	2,68	5,03	4,59	--
3	293,59	50,44	11,60	30,39	2,53	5,05	4,91	--
4	288,59	49,35	11,53	31,80	2,32	5,01	8,38	--
5	285,11	48,34	11,59	32,69	2,34	5,05	11,79	--
6	286,19	48,55	11,58	32,25	2,39	4,99	5,74	--
7	286,24	48,60	11,63	32,30	2,44	5,04	5,79	--
8	285,80	48,59	11,51	32,24	2,62	5,05	4,62	--
9	286,24	48,60	11,63	32,30	2,44	5,04	5,79	--
10**	286,22	48,58	11,61	32,28	2,42	5,02	5,77	163,01
11	283,31	47,92	11,60	33,00	2,46	5,03	11,13	--
12	294,81	51,01	11,33	30,05	2,57	5,05	4,57	--
13	286,27	48,59	11,60	32,32	2,47	5,07	5,74	--
14*	274,10	48,60	11,30	35,00	2,35	5,04	4,03	0

* Muestra control

** Ácido fólico solo se realizó al optimo después de tener los resultados.

En el presente estudio, la proteína, el hierro y el ácido fólico aumentaron conforme se incrementó la proporción de HTG, siendo la sustitución máxima recomendada del 15 % (Tabla 4). Este valor concuerda con algunos estudios previos; sin embargo, otros reportan sustituciones más altas, entre 25 % y 50 %, en productos como galletas y pan pita, utilizando granos germinados durante 12 a 48 horas y trigos panaderos. En este trabajo, la germinación se extendió a 120 horas con el objetivo de maximizar los contenidos de hierro y ácido fólico, utilizando trigo andino procedente de los Andes peruanos.

Los resultados del análisis de varianza y de la regresión lineal se presentan en la Tabla 5, confirmando la

significancia de la incorporación de harina de trigo germinado (HTG) sobre el contenido de proteína ($P < 0,007$) y hierro ($P < 0,006$). El modelo mostró un ajuste adecuado, con coeficientes de determinación (R^2) de 85,95 % para proteína y 86,26 % para hierro. Los datos presentados en las Tablas 4 y 5, así como en la Figura 2, indican que la sustitución óptima corresponde al 15 % de HTG, permitiendo obtener un perfil nutricional mejorado, especialmente en proteína, hierro y ácido fólico.

Figura 2.

Imagen de la miga del pan molde integral con adición de HTG y su codificación.

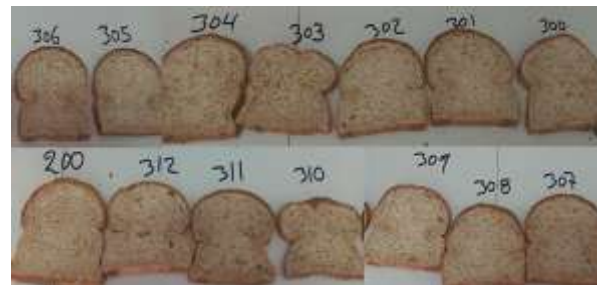


Tabla 5.

Resumen de análisis de varianza del DCC de los resultados a los parámetros nutricionales de los panes formulados con harina de trigo y harina de trigo germinado.

Probabilidad	Energía (kcal)	Carbohidratos (g)	Proteínas (g)	Humedad (g)	Cenizas (g)	Grasa Total (g)	Hierro (mg)
P-valor del modelo	0,309	0,245	0,007	0,243	0,291	0,933	0,006
Lineal	0,707	0,732	0,073	0,793	0,410	0,781	0,137
P-valor HT	0,494	0,484	0,377	0,568	0,421	0,577	0,622
P-valor HTG	0,660	0,753	0,034	0,738	0,292	0,692	0,059
P-valor HT – HTG	0,037	0,026	0,007	0,024	0,050	1,000	0,001
R ²	51,25	55,33	85,95	55,46	52,39	14,58	86,26

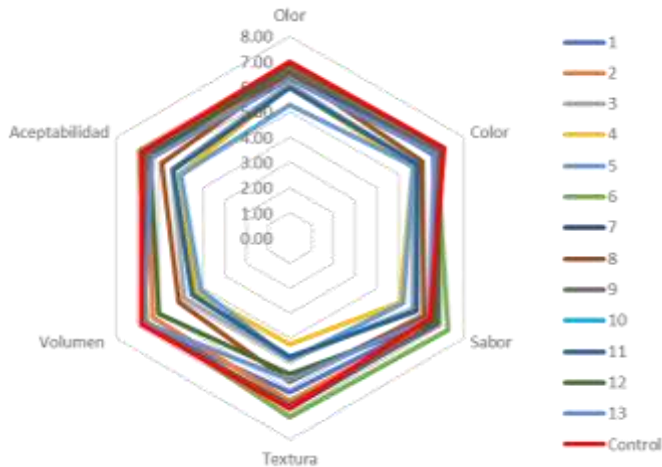
C. *Análisis organoléptico*: el análisis sensorial de los 13 lotes de pan de molde fortificados y del lote de pan convencional se realizó utilizando un panel semi-entrenado de 50 evaluadores. Los panelistas emplearon una escala hedónica verbal o escrita para calificar el grado de satisfacción respecto al color, sabor, volumen, textura y aceptación general de los productos.

Según lo observado en la Figura 3, el atributo más apreciado fue el olor, seguido del color y la aceptabilidad general. En contraste, el volumen y el sabor obtuvieron

puntuaciones moderadas, mientras que la textura fue el atributo con menor aceptación.

Figura 3.

Distribución en la escala hedónica, de los valores obtenidos a las cualidades sensoriales del pan molde integral con HT y HTG



Los resultados presentados en la Tabla 6 y la Figura 3 muestran que los tratamientos con 15 % de harina de trigo germinado (HTG) (T6 y T10) obtuvieron las puntuaciones más altas en todos los atributos sensoriales evaluados, superando al control en varios de ellos. En contraste, el tratamiento con 20 % de HTG (T5) registró las puntuaciones más bajas. El pan control presentó valores inferiores en olor, color, sabor, textura, volumen y aceptabilidad general.

Estos resultados pueden explicarse por la activación de enzimas, el aumento de aminoácidos libres y la liberación de azúcares reductores durante la germinación, factores que influyen significativamente en las características sensoriales del pan [5, 16, 53, 65]. Estudios previos han demostrado que la germinación controlada de granos mejora de manera notable las propiedades sensoriales y la aceptabilidad de panes integrales [66]. Por lo tanto, se puede concluir que la mejora del perfil sensorial observada en los panes con HTG se atribuye principalmente al proceso de germinación, que optimiza tanto las propiedades sensoriales como nutricionales del producto.

Resultados similares han sido reportados por [67], quienes trabajaron con pan enriquecido con harina de trigo germinado (HTG) y encontraron puntajes de 6,6 en la escala hedónica para aspecto, sabor, textura, olor, color y aceptabilidad general al sustituir un 10 % de la harina. De manera comparable, [16] indicaron que la incorporación de harina integral de trigo germinado mejora el valor

nutricional del pan integral; un reemplazo del 20 % aumenta la altura del pan, mientras que un 10 % mejora las calificaciones sensoriales de volumen, suavidad y aceptabilidad. Por su parte, [64] reportaron que un reemplazo del 20 % de harina de garbanzo germinado mejora la textura, apariencia, aroma y aceptabilidad sensorial del producto. En contraste, [68] encontraron que, al sustituir harina de trigo por harina de semillas de fenogreco desamargadas, la sustitución ideal fue del 10 %, logrando mejores evaluaciones sensoriales en sabor, olor, textura y aceptabilidad general. Los resultados obtenidos en este estudio, con un 15 % de HTG, se encuentran dentro del rango reportado por estos autores [24, 47, 69].

Tabla 6.

Puntaciones promedio de los atributos sensoriales olor, color, sabor, textura, volumen y aceptabilidad.

Tratamiento	Olor	Color	Sabor	Textura	Volumen	Aceptabilidad
1	6,5±1,3	6,8±0,9	6,6±0,9	6,1±0,8	6,8±1,0	6,6±1,0
2	6,4±1,0	6,8±1,0	6,7±0,8	6,5±1,0	6,3±0,9	6,5±1,0
3	6,1±1,4	5,7±1,1	5,7±1,1	4,9±1,0	4,8±1,0	5,4±1,1
4	6,0±1,3	5,6±1,2	5,1±1,0	4,2±1,0	4,3±1,0	5,1±0,9
5	5,3±1,3	5,7±1,4	5,2±1,3	4,8±1,2	4,1±1,2	5,0±1,0
6	6,7±1,1	6,7±0,8	7,3±1,2	7,1±1,2	6,6±1,2	6,9±1,5
7	6,6±1,0	6,7±1,1	6,8±1,2	6,8±1,5	6,8±1,5	6,7±1,1
8	6,6±1,3	6,1±0,7	6,9±1,0	5,7±1,3	5,1±1,3	5,9±1,3
9	6,7±1,0	6,9±1,0	6,1±0,8	6,6±1,2	6,8±1,2	6,8±1,1
10	7,6±1,3	7,2±1,1	6,2±1,1	6,7±1,0	7,0±1,0	7,0±1,3
11	6,0±1,2	5,9±0,7	5,8±1,0	4,7±1,4	4,5±1,0	5,8±1,0
12	7,0±1,2	7,1±1,0	6,6±1,2	5,4±1,1	6,0±1,2	6,4±1,5
13	6,3±0,9	6,7±1,0	6,4±1,2	5,6±1,2	6,7±1,0	6,3±1,6
Control	7,0±1,2	7,1±1,0	6,4±0,8	6,8±1,0	6,8±1,1	6,8±1,5

En la Tabla 7 se observa que el diseño central compuesto (DCC) presentó diferencias significativas en los modelos lineales y cuadráticos para todos los atributos sensoriales evaluados (olor, color, sabor, textura, volumen y aceptabilidad), con valores de $P < 0,05$. Los coeficientes de determinación (R^2) fueron mayores al 82,21 % para sabor, textura, volumen y aceptabilidad, mientras que el color presentó un R^2 menor, de 71,26 %. Estos resultados coinciden con los reportados por [15, 47, 65, 70], quienes señalaron que la harina integral de trigo germinado influye de manera significativa ($P < 0,05$) en la humedad, sabor,

olor, textura, dureza y porosidad de los panes, con coeficientes de determinación superiores al 80 %.

Tabla 6.

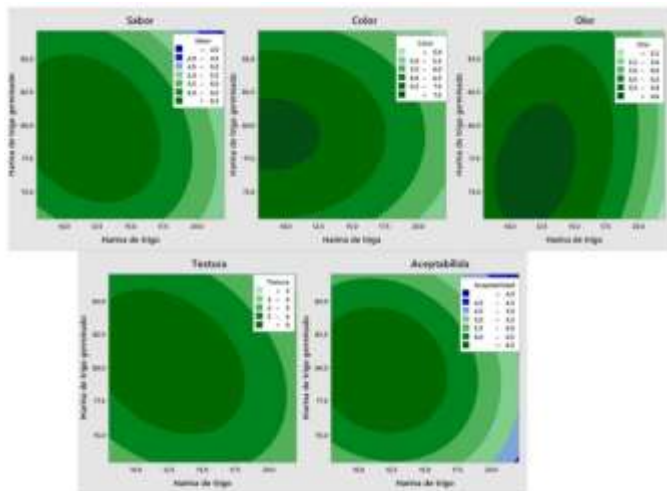
Resumen de análisis de varianza del DCC de los resultados de los parámetros sensoriales de los panes formulados con harina de trigo y harina de trigo germinado.

Probabilidad	Olor	Color	Sabor	Textura	Volumen	Aceptabilidad
P-valor del modelo	0,054	0,003	0,002	0,015	0,000	0,000
Lineal	0,050	0,002	0,002	0,038	0,000	0,000
P-valor HT	0,024	0,001	0,001	0,014	0,000	0,000
P-valor HTG	0,356	0,233	0,114	0,669	0,437	0,236
P-valor HT – HTG	0,524	0,963	0,174	0,172	0,119	0,322
R ²	71,26	88,58	90,52	82,21	99,18	94,49

La Figura 4 presenta los resultados de la evaluación sensorial indicando que la sustitución (HTG) podría darse desde 10% hasta 17% para mejorar el volumen, aceptabilidad, textura, sabor, olor y color del pan molde integral HTG. Siendo la sustitución óptima de 15%.

Figura 4.

Gráfica de contornos para aceptabilidad, textura, olor, color, sabor de los panes con harina de trigo y harina de trigo germinado



IV. CONCLUSIONES

Este estudio demostró que la incorporación de harina de trigo germinada (HTG) modificó de manera significativa las

propiedades reológicas, nutricionales y sensoriales de la masa y del pan de molde integral. La sustitución con HTG afectó notablemente el comportamiento reológico de la masa, evidenciado por una disminución en la absorción de agua (g/100 g), el debilitamiento del gluten (Nm), la estabilidad (min) y el tiempo de desarrollo de la masa (min) en comparación con el control. Los tratamientos con 8 % y 15 % de HTG mostraron valores muy próximos al control, indicando que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución, se intensifica el impacto sobre la masa. En términos nutricionales, la adición del 15 % de HTG incrementó el contenido de proteína (11,61 g), hierro (5,77 mg) y ácido fólico (163,01 µg) en comparación con el pan elaborado únicamente con harina de trigo, cumpliendo el objetivo de mejorar el perfil nutricional. Asimismo, las propiedades sensoriales —color, olor, sabor, textura, volumen y aceptabilidad— se vieron favorecidas por la inclusión de HTG. El pan con 15 % de HTG presentó atributos sensoriales aceptables y comparables al pan 100 % de trigo, destacando un buen color, aroma, sabor, textura, volumen y aceptabilidad general.

En conclusión, la incorporación de HTG no solo mejora el valor nutricional del pan integral, sino que también influye en sus propiedades reológicas y sensoriales, evidenciando que una sustitución del 15 % es óptima para obtener un pan con características equilibradas y de alta calidad.

V. AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Queremos agradecer al Centro de Producción de Bienes Unión de la Universidad Peruana Unión por el apoyo económico brindado y por facilitarnos sus laboratorios de desarrollo de nuevos productos y de ensayos de alimentos para el desarrollo de la presente investigación.

VI. REFERENCES

- [1] Rico, D., Peñas, E., García, D., Rai, D., Martínez, C., Frias, J., & Martín, A. (2021). Development of antioxidant and nutritious lentil (Lens culinaris) flour using controlled optimized germination as a bioprocess. *Foods*, vol. 10 (12), DOI: 10.3390/foods10122924.
- [2] Teohn, S., Ngorsuraches, S., Lai, N., Bangpan, M. & Chiyakunapruk, N. (2019). Factors affecting consumer's decisions on the use of nutraceuticals: a systematic review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, vol. 70 (4). DOI: 10.1080/09637486.2018.1538326
- [3] Reyes, J., Espinoza, R., & De La Cruz Vargas, J. (2022). *Análisis de los factores subyacentes asociados a la desnutrición crónica infantil en el Perú según ENDES 2019-2020*.
- [4] Nelson, K., Stojanovska, L., Vasiljevic, T., & Mathai, M. (2013). Germinated grains: A superior whole grain functional food? *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 91 (6), 429–441. DOI: 10.1139/cjpp-2012-0351B.
- [5] Tian, W., Ehmke, L., Miller, R., & Li, Y. (2019). Changes in Bread Quality, Antioxidant Activity, and Phenolic Acid Composition of Wheats During Early-Stage Germination. *Food Chemistry*, 0, 1–9. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14463>
- [6] Chatterjee, P., Nirgude, A., & Chatterjee, P. K. (2022). Healthy eating – a modifiable contributor to optimize healthy living in the COVID-19

- pandemic: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(5), 1751–1758. DOI: 10.1002/jsfa.11650
- [7] Johnson, A. N., Clockston, R. L. M., Fremling, L., Clark, E., Lundeberg, P., Mueller, M., & Graham, D. J. (2023). Changes in Adults' Eating Behaviors During the Initial Months of the COVID-19 Pandemic: A Narrative Review. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 123(1), 144–194.e30. DOI: 10.1016/j.jand.2022.08.132
 - [8] Ding, J., & Feng, H. (2018). Controlled germination for enhancing the nutritional value of sprouted grains. In *Sprouted Grains: Nutritional Value, Production, and Applications*. Elsevier Inc. DOI: 10.1016/B978-0-12-811525-1.00005-1
 - [9] Naumenko, N., Potoroko, I., Kalinina, I., Fatkullin, R., & Ivanisova, E. (2021a). The Influence of the Use of Whole Grain Flour from Sprouted Wheat Grain on the Rheological and Microstructural Properties of Dough and Bread. 2021.
 - [10] Peñaranda, J. D., Bueno, M., Álvarez, F., Pérez, P. D., & Perezabad, L. (2021). Sprouted grains in product development. Case studies of sprouted wheat for baking flours and fermented beverages. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25(June). DOI: 10.1016/j.ijgfs.2021.100375
 - [11] Paucar-Menacho, L. M., Simpalo-López, W. D., Castillo-Martínez, W. E., Esquivel-Paredes, L. J., & Martínez-Villaluenga, C. (2022). Reformulating Bread Using Sprouted Pseudo-cereal Grains to Enhance Its Nutritional Value and Sensorial Attributes. *Foods*, 11(11), 1541. DOI: 10.3390/foods11111541
 - [12] Savelkoul, F. H. M. G., Van Der Poel, A. F. B., & Tamminga, S. (1992). The presence and inactivation of trypsin inhibitors, tannins, lectins and amylase inhibitors in legume seeds during germination. A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 42(1), 71–85. DOI: 10.1007/BF02196074
 - [13] Singh, A. K., Rehal, J., Kaur, A., & Jyot, G. (2015). Enhancement of Attributes of Cereals by Germination and Fermentation: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(11), 1575–1589. DOI: 10.1080/10408398.2012.706661
 - [14] Pagand, J., Heirbaut, P., Pierre, A., & Pareyt, B. (2017). The magic and challenges of sprouted grains. *Cereal Foods World*, 62(5), 221–226. DOI: 10.1094/CFW-62-5-0221
 - [15] Johnston, R., Martin, J. M., Vetch, J. M., Byker-Shanks, C., Finnie, S., & Giroux, M. J. (2019). Controlled sprouting in wheat increases quality and consumer acceptability of whole-wheat bread. *Cereal Chemistry*, 96(5), 866–877. DOI: 10.1002/cche.10187
 - [16] Cardone, G., Pagani, M. A., & Marti, A. (2020). Sprouting improves the bread-making performance of whole wheat flour (*Triticum aestivum* L.). *Food Science & Technology*, 1–20. DOI: 10.1002/jsfa.10264
 - [17] Hung, P. Van, Hatcher, D. W., & Barker, W. (2011). Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities. *Food Chemistry*, 126(4), 1896–1901. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.015
 - [18] Andersson, A. A. M., Dimberg, L., Åman, P., & Landberg, R. (2014). Recent findings on certain bioactive components in whole grain wheat and rye. *Journal of Cereal Science*, 59(3), 294–311. DOI: 10.1016/j.jcs.2014.01.003
 - [19] Chaturvedi, N. L. G. (2015). The Impact of Malting on Nutritional Composition of Foxtail Millet, Wheat and Chickpea. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 05(05), 5–7. DOI: 10.4172/2155-9600.1000407
 - [20] Zilić, S., Basić, Z., Hadži-Tašković, Škalović, V., Maksimović, V., Janković, M., & Filipović, M. (2014). Can the sprouting 544. DOI: 10.1007/s00217-010-1310-y
 - [21] Mariutti, L. R. B., Rebelo, K. S., Bisconsin-Junior, A., de Moraes, J. S., Magnani, M., Maldonado, I. R., Madeira, N. R., Tiengo, A., Maróstica, M. R., & Cazarin, C. B. B. (2021). The use of alternative food sources to improve health and guarantee access and food intake. *Food Research International*, 149, 110709. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2021.110709
 - [22] Marti, A., Cardone, G., Pagani, M. A., & Casiraghi, M. C. (2018). Flour from sprouted wheat as a new ingredient in bread-making. *Lwt*, 89, 237–243. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.10.052
 - [23] Sun, W., Zhang, W., Xu, Y., Wang, P., & Shen, W. (2023). Dough rheology, pasting property, and steamed bread quality of wheat flour as affected by the addition of sprouted wheat flour. *International Journal of Food Properties*, 26 (1), 2160–2170. DOI: 10.1080/10942912.2023.2244699
 - [24] Atudorei, D., Atudorei, O., & Codină, G. G. (2021). Dough rheological properties, microstructure and bread quality of wheat-germinated bean composite flour. *Foods*, 10(7). DOI: 10.3390/foods10071542
 - [25] Poudel, R., Finnie, S., & Rose, D. J. (2019). Effects of wheat kernel germination time and drying temperature on compositional and end-use properties of the resulting whole wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 86(January), 33–40. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.01.004
 - [26] Hefni, M., & Withöft, C. M. (2012). Enhancement of the folate content in Egyptian pita bread. *Food and Nutrition Research*, 56, 3–6. DOI: 10.3402/fnr.v56i0.5566
 - [27] International, A. (2009). Crude Protein--Improved Kjeldahl Method. *AACC International Approved Methods*, 3–5. DOI: 10.1094/aaccintmethod-46-10.01
 - [28] Method, A. O. (2000). Fat (Crude) or Ether Extract in Animal Feed 920.39. *AOAC*, 01(1981), 1982–1982.
 - [29] International, A. (2009). Crude Fiber in Flours, Feeds, and Feedstuffs. *AACC International Approved Methods*, 2–5. DOI: 10.1094/aaccintmethod-32-10.01
 - [30] International Method, A. (2009). Calculation of Percent Moisture. *AACC International Approved Methods*, 1992. DOI: 10.1094/aaccintmethod-44-01.01
 - [31] International Method, A. (2009a). Ash--Basic Method. *AACC International Approved Methods*, 8–9. DOI: 10.1094/aaccintmethod-08-01.01
 - [32] International Method, A. (2010). International approved method to measure rheological properties of a dough sample (AACC). *Physical Dough Tests*, 1–6. DOI: 10.1094/AACCIntMethod-54-60.01
 - [33] Dubat, A., Rosell, C. M., & Gallagher, E. (2013). Mixolab: A New Approach to Rheology. In *Mixolab: A New Approach to Rheology* (Edition, Vol. 1). AACC International.
 - [34] Koksel, H., Kahraman, K., Sanal, T., Ozay, D. S., & Dubat, A. (2009). Potential utilization of mixolab for quality evaluation of bread wheat genotypes. *Cereal Chemistry*, 86(5), 522–526. DOI: 10.1094/CCHEM-86-5-0522
 - [35] Della Valle, G., Dufour, M., Hugon, F., Chiron, H., Saulnier, L., & Kansou, K. (2022). Rheology of wheat flour dough at mixing. *Current Opinion in Food Science*, 47, 100873. DOI: 10.1016/J.COFS.2022.100873
 - [36] Laignier, F., Akutsu, R. de C. de A., Lima, B. R. de, Zandonadi, R. P., Raposo, A., Saraiva, A., & Botelho, R. B. A. (2022). Amorphophallus konjac: Sensory Profile of This Novel Alternative Flour on Gluten-Free Bread. *Foods*, 11(10), 1379. DOI: 10.3390/foods11101379
 - [37] Popper, R., & Kroll, J. J. (2011). Consumer testing of food products using children. In *Developing Children's Food Products*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857091130.3.163>
 - [38] Tasiguano, B. L., Villarreal, C., Schmiele, M., & Vernaza, M. G. (2019). Effect of Cooking Time of Pumpkin (*Cucurbita maxima*) and the addition of Glucose Oxidase on the Increase of Resistant Starch in Loaf Bread. *Informacion Tecnológica*, 30(3), 167–178. DOI: 10.4067/S0718-07642019000300167
 - [39] Bartalné-Berceli, M., Izsó, E., Gergely, S., & Salgó, A. (2021). Effects of special additives in wheat dough system measured by Mixolab technique. *Czech Journal of Food Sciences*, 39(6), 460–468. DOI: 10.17221/228/2020-CJFS
 - [40] Sin, H. N., Yusof, S., Abdul Hamid, N. S., & Abd. Rahman, R. (2006). Optimization of hot water extraction for sapodilla juice using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 74(3), 352–358. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.03.005
 - [41] Saito R., Z. A. (2009). Optimización de los parámetros de extracción acuosa de la goma extraída de semillas de zapote. Universidad Peruana Unión.
 - [42] García, F., Sotelo, A., Alvarez, H., Norabuena, E., Sumarriva, L., Yachi, K., Gonzales, T., Naupay, M. & Cornelio, H. (2023). Influence of Peruvian Andean grain flours on the nutritional, rheological, physical, and sensory properties of sliced bread. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7(August). DOI: 10.3389/fsufs.2023.1202322
 - [43] Liu, T., Hou, G. G., Cardin, M., Marquart, L., & Dubat, A. (2017). Quality attributes of whole-wheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution. *Lwt*, 77, 1–7. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.11.017

- [44]Jribi, S., Sahagún, M., Belorio, M., Debbabi, H. Y Gomez, M., 2020. Effect of sprouting time on dough and cookies properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 14, no. 3, ISSN 21934134. DOI 10.1007/s11694-020-00407-2.
- [45]Cauvaun, S. (2015). *Tecnology of Breadmaking* (3 ed. (ed.)). Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-14687-4
- [46]Cornejo, F. Y Rosell, C.M., (2015). Influence of germination time of brown rice in relation to flour and gluten free bread quality. *Journal of Food Science and Technology*, vol. 52, no. 10. DOI 10.1007/s13197-015-1720-8.
- [47]Guardado, D., Lazo, M., Pérez, E., Panata, D. & Serna, S. (2020). Effect of partial replacement of wheat flour with sprouted chickpea flours with or without selenium on physicochemical, sensory, antioxidant and protein quality of yeast-leavened breads. *Lwt*, 129, 109517. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109517
- [48]Baranzelli, J., Kringel, D.H., Colussi, R., Paiva, F.F., Aranha, B.C., Miranda, M.Z. De, Zavareze, E. Da R. Y Dias, A.R.G., (2018). Changes in enzymatic activity, technological quality and gamma-aminobutyric acid (GABA) content of wheat flour as affected by germination. *Lwt*, vol. 90, no. July. DOI 10.1016/j.lwt.2017.12.070
- [49]Chopin Technologies, (2012). Rheological and enzyme analyses. Chopin Technology, no. Mayo.
- [50]Singh, N., Gujral, H. S., Katyal, M., & Sharma, B. (2019). Relationship of Mixolab characteristics with protein, pasting, dynamic and empirical rheological characteristics of flours from Indian wheat varieties with diverse grain hardness. *Journal of Food Science and Technology*, 56 (5), 2679–2686. DOI: 10.1007/s13197-019-03756-z
- [51]Nelson, K., Stojanovska, L., Vasiljevic, T., & Mathai, M. (2013). Germinated grains: A superior whole grain functional food? *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 91(6), 429–441. DOI: 10.1139/cjpp-2012-0351
- [52]Rosell, C. M., Collar, C., & Haros, M. (2007). Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocolloids*, 21(3), 452–462. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2006.05.004
- [53]Barak, S., Mudgil, D., & Khatkar, B. S. (2013). Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *Lwt*, 51(1), 211–217. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.011>
- [54]Kahraman, K., Sakıyan, O., Oztürk, S., Koksels, H., Sumnu, G., & Dubat, A. (2008). Utilization of Mixolab ® to predict the suitability of flours in terms of cake quality. *European Food Research and Technology*, 227(2), 565–570. DOI: 10.1007/s00217-007-0757-y
- [55]Cingöz, A., & Yörükoglu, T. (2022). Determination of Rheological Properties of Alternative Flour Substituted Doughs. *Black Sea Journal of Agriculture*, 5(4), 392–400. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1141895>
- [56]Barros, F., Alviola, J. N., Tilley, M., Chen, Y. R., Pierucci, V. R. M., & Rooney, L. W. (2010). Predicting hot-press wheat tortilla quality using flour, dough and gluten properties. *Journal of Cereal Science*, 52(2), 288–294. DOI: 10.1016/j.jcs.2010.06.009
- [57]Cauduro, T., D'Almeida, C., Biduski, B., dos Santos, A., Santos, M., Lima, L., Cameron, L., Bertolin, T., Ferreira, M. & Gutkoski, L. (2023). La harina de trigo integral sustituida por trigo germinado mejora el perfil de compuestos fenólicos, las propiedades reológicas y de panificación. *Journal of Cereal Science*, 114, 103778. DOI: 10.1016/j.jcs.2023.103778.
- [58]Thakur, P., Kumar, K., & Dhaliwal, H. S. (2021). Nutritional facts, bio-active components and processing aspects of pseudocereals: A comprehensive review. *Food Bioscience*, 42, 101170. DOI: 10.1016/J.FBIO.2021.101170
- [59]Lemmens, E., Moroni, A. V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., Kim-Anne, L., Van den Broeck, H. C., Brouns, F. J. P. H., De Brier, N., & Delcour, J. A. (2019). Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(1), 305–328. DOI: 10.1111/1541-4337.12414
- [60]Hidalgo, A., Tumbas Šaponjac, V., Četković, G., Šeregelj, V., Čanadanović-Brunet, J., Chiosa, D., & Brandolini, A. (2019). Antioxidant properties and heat damage of water biscuits enriched with sprouted wheat and barley. *Lwt*, 114, 1–23. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108423
- [61]Hefni, M., & Witthöft, C. M. (2012). Enhancement of the folate content in Egyptian pita bread. *Food and Nutrition Research*, 56, 3–6. DOI: 10.3402/fnr.v56i0.5566
- [62]Cankurtaran-Kömrü, T., & Bilgiçli, N. (2023). Utilization of germinated ancient wheat (Emmer and Einkorn) flours to improve functional and nutritional properties of bread. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103292. DOI: 10.1016/J.IFSET.2023.103292
- [63]Sakr, A. (2020). Evaluation of Wheat Germination for Making Gluten-Free Bread. *Current Science International*, 677–689. <https://doi.org/10.36632/csi/2020.9.4.61>
- [64]Chinna, C., Ezeocha, V., Adedeji, O., Ayo, H., Oganah, B., Anumba, N., Animola, G., Adegoke, D., Alhassan, R., & Adebo, O. (2023). Germinated Bambara groundnut (Vigna subterranea) flour as an ingredient in wheat bread: Physicochemical, nutritional, and sensory properties of bread. *Journal of Food Science*, 88(6), 2368–2384. DOI: 10.1111/1750-3841.16585
- [65]Elizabeth, R., & Johnston, B. (2019). Controlled sprouting in wheat increases quality and consumer acceptability of whole wheat bread (Issue April). MONTANA STATE UNIVERSITY.
- [66]Al-Ansi, W., Zhang, Y., Alkawry, T. A. A., Al-Adeeb, A., Mahdi, A. A., Al-Maqtari, Q. A., Ahmed, A., Mushtaq, B. S., Fan, M., Li, Y., Qian, H., Lianzhan, Y., Qifeng, P., & Wang, L. (2022). Influence of germination on bread-making behaviors, functional and shelf-life properties, and overall quality of highland barley bread. *LWT*, 159, 113200. DOI: 10.1016/J.LWT.2022.113200
- [67]Gawlik, U., Dziki, D., Pietrzak, W., & Nowak, R. (2017). Phenolic acids proliferate and antioxidant properties of bread enriched with sprouted wheat flour. *Journal of Food Biochemistry*, 41(4). DOI: 10.1111/jfbc.12386
- [68]Chaubey, P. S., Somani, G., Kanchan, D., Sathaye, S., Varakumar, S., & Singhal, R. S. (2018). Evaluation of debittered and germinated fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) seed flour on the chemical characteristics, biological activities, and sensory profile of fortified bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1). DOI: 10.1111/jfpp.13395
- [69]Perri, G., Coda, R., Rizzello, C. G., Celano, G., Ampollini, M., Gobbetti, M., De Angelis, M., & Calasso, M. (2021). Sourdough fermentation of whole and sprouted lentil flours: In situ formation of dextran and effects on the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread. *Food Chemistry*, 355. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129638
- [70]Shin, D. J., Kim, W., & Kim, Y. (2013). Physicochemical and sensory properties of soy bread made with germinated, steamed, and roasted soy flour. *Food Chemistry*, 141(1), 517–523. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.03.005