

Evaluación de propiedades reológicas y contenido de gluten en variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) cosechadas en Quito, Ecuador

Evaluation of rheological properties and gluten content in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties harvested in Quito, Ecuador

Silvia Alexandra Chancusig–Pila^a silvia.chancusig0151@utc.edu.ec; Clara Elena Villacrés–Poveda^{ab} elenavillacres9@hotmail.com;
María Monserrath Morales–Padilla^a maria.morales1144@utc.edu.ec

^aUniversidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga– Ecuador.

^bInstituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Mejía –Ecuador.

Recibido: 19/10/2023 Aceptado: 27/02/2024

Citar, APA: Chancusig–Pila, S.A., Villacrés–Poveda, C.E., y Morales–Padilla, M.M. (2024). Evaluación de propiedades reológicas y contenido de gluten en variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) cosechadas en Quito, Ecuador. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (1), 1–12. <https://doi.org/10.23850/24220582.5990>

Resumen El trigo es un cultivo de importancia económica por su relevante composición nutricional incluyendo: proteínas, lípidos, fibra, minerales (hierro, magnesio, zinc, potasio, calcio y fósforo), además de contener aminoácidos. El objetivo de la presente investigación consistió en determinar el contenido de gluten y las propiedades reológicas de harinas obtenidas de diferentes variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.). Por lo cual, se analizaron características fisicoquímicas (humedad, contenido de gluten húmedo y seco y proteína) y propiedades reológicas (absorción de agua, estabilidad de la masa, C2, C3, C4 y C5) de las harinas de 9 variedades de trigo, aplicando un Diseño Completamente al Azar, siendo el Factor C = Variedad de trigo y Factor B = Niveles de nitrógeno, con tres repeticiones. En cuanto a la humedad no se presentó diferencia significativa ($p < 0,05$), mientras que el contenido de gluten húmedo reportó valores entre 17,4 a 38,89 %; para gluten seco se obtuvieron valores entre 8,38 a 15,87 %; y contenido de proteína de 10,54 a 13,71 %. En relación a las características reológicas de las harinas, las variedades INIAP-COJITAMBO 92, INIAP-COTACACHI 98 e INIAP-IMBABURA 2014 (66,08 %; 65,95 % y 65,55 %, respectivamente) obtuvieron la mayor absorción de agua, en la estabilidad, las masas de harina presentaron un rango entre 1,97 y 7,34 min, para debilitamiento de las proteínas (C2) se obtuvieron valores de 0,17 a 0,40 Nm, en la gelatinización del almidón (C3) situó 0,94 y 1,48 Nm, actividad amilácea (C4) presentó 0,29 a 1,15 Nm y la retrogradación del almidón (C5) que varió en sus resultados con valores que oscilaron entre 0,28 a 1,58 Nm.

Palabras clave: cereal, gluten seco, almidón, características fisicoquímicas, fertilización.

Abstract Wheat is a crop of economic importance due to its relevant nutritional composition including: proteins, lipids, fiber, minerals (iron, magnesium, zinc, potassium, calcium and phosphorus), in addition to containing amino acids. The objective of this research was to determine the gluten content and rheological properties of flours obtained from different varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.). Therefore, physicochemical characteristics (moisture, wet and dry gluten content and protein) and rheological properties (water absorption, dough stability, C2, C3, C4 and C5) of flours from 9 wheat varieties were analyzed, applying a completely randomized design, with Factor C = wheat variety and Factor B = nitrogen levels, with three replicates. As for moisture, there was no significant difference ($p < 0,05$), while the wet gluten content reported values between 17,4 and 38,89 %; for dry gluten, values between 8.38 and 15.87 % were obtained; and protein content between 10.54 and 13,71 %. In relation to the rheological characteristics of the flours, the varieties INIAP-COJITAMBO 92, INIAP-COTACACHI 98 and INIAP-IMBABURA 2014 (66,08 %; 65,95 % and 65,55 %, respectively) obtained the highest water absorption, in stability, flour doughs presented a range between 1.97 and 7.34 min, for protein weakening (C2) values from 0,17 to 0,40 Nm were obtained, starch gelatinization (C3) showed 0,94 to 1.48 Nm, starch activity (C4) showed 0,29 to 1.15 Nm, and starch retrogradation (C5) showed variability in its results with values ranging from 0,28 to 1.58 Nm.

Keywords: cereal, dry gluten, starch, physicochemical characteristics, fertilization.

Introducción

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el cereal más cultivado a nivel mundial (Oyeyinka & Bassey, 2023). Según la Food and Agriculture Organisation (FAO, 2022), se espera que la producción mundial de cereales alcance 2,804 millones de toneladas en 2023/24, cifra que sigue siendo un 0,8 % (21,8 millones de toneladas) más alta que en 2022/23. La previsión de la utilización total de trigo a disminuido de 1,7 millones de toneladas a 783 millones de toneladas, aunque supera en un 0,5 % el nivel de 2022/23.

El trigo suministra aproximadamente el 55 % de los carbohidratos y el 21 % de las calorías alimentarias consumidas en todo el mundo, además, es rico en proteínas (gluten), minerales (Cu, Mg, Zn, P y Fe), vitaminas (grupo B y E), riboflavina, niacina, tiamina. y fibra dietética (Khalid *et al.*, 2023). Los productos de harina como el pan, fideos y otros productos se elaboran con harina de trigo y son el principal alimento del ser humano (Zhang, 2020). Actualmente, el trigo es uno de los cultivos más importantes en la serranía ecuatoriana, y hace parte de la canasta básica de los pequeños productores de la región (Sarchi-Laines & Guerrero-Zurita, 2022).

Este cultivo se desarrolla en todo el callejón interandino (provincias de Carchi, Chimborazo, Bolívar, Imbabura y Pichincha), siendo la provincia de Carchi la de mayor producción con un cultivo de más de 2,976 hectáreas (Ponce-Molina *et al.*, 2022). Sin embargo, la producción de trigo en Ecuador ha evidenciado un déficit desde hace más de 30 años, debido a afectaciones causadas principalmente por factores de tipo abiótico, déficit hídrico, nutricional y las temperaturas extremas en estado crítico del cultivo (Montenegro-Montenegro, 2012).

Tanto la producción y la calidad del trigo se pueden mejorar mediante el desarrollo de nuevas variedades que puedan generar

un rendimiento superior y funcionar mejor en diversas condiciones y tensiones agroclimáticas (Villaseñor, 2015). Por ello, para predecir la calidad del producto final, es necesario comprender la caracterización fisicoquímica y reológica de la materia para la industria alimentaria (Carrión, 2022). Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo de investigación consistió en determinar el contenido de gluten y las propiedades reológicas de harinas obtenidas de diferentes variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.).

Materiales y métodos

Material

Las harinas utilizadas en la experimentación se obtuvieron de 9 variedades de trigo (INIAP-COJITAMBO 92; INIAP-QUILINDAÑA 94; INIAP-SANGAY 94; INIAP-COTACACHI 98; INIAP-ZHALAO 2003; INIAP-MIRADOR 2010; INIAP-SAN JACINTO 2010; INIAP-VIVAR 2010 e INIAP-IMBABURA 2014), las cuales provienen de la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ubicada a 13 km al sur de Quito, Ecuador con una Latitud: 0° 22' S, Longitud: 78° 33' 0 y a una altura de 3050 m.s.n.m.

Obtención de las harinas de trigo

Las harinas se obtuvieron mediante la molienda de los granos de cada variedad estudiada, con la ayuda de un molino industrial (MAGISTER, Colombia) y finalmente cada muestra, se tamizó hasta obtener una granulometría uniforme, en un tamiz de malla 100 ASTM. Cabe destacar que, para garantizar la calidad de las harinas, estas se empacaron en embalaje de papel transpirable y se conservaron a temperatura ambiente (25 °C), para sus respectivos análisis.

Características reológicas

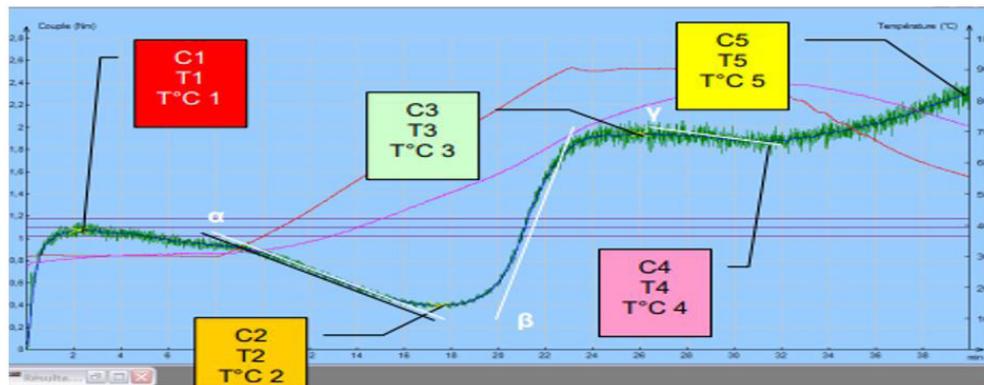
Por medio del equipo Mixolab (CHOPIN Technologies), se observó el comportamiento reológico de las harinas de las 9 variedades de

trigo (*T. aestivum* L.) estudiadas. Se evaluó la absorción de agua, estabilidad de la masa (min), comportamiento de la mezcla (C1), calidad de la proteína (C2), gelatinización del almidón (C3), actividad amilásica (C4) y retrogradación del almidón (C5). Por ello, se siguió la metodología de Dubat & Boinot (2012), la cual consistió

en desarrollar una prueba apoyada en la preparación de una masa de cada harina, la cual se hidrato constantemente durante la primera fase del test. Los resultados se demuestran a lo largo del gráfico de la curva con los cinco picos representados en los valores (C1, C2, C3, C4 y C5) como se indica en la **Figura 1**.

Figura 1

Curva Mixolab usada para la determinación de las características reológicas



Nota. C1: Comportamiento de la mezcla, C2: Calidad de la proteína, C3: Gelatinización del almidón, C4: Actividad amilásica, C5: Retrogradación del almidón.

Determinación del contenido de Humedad

Respecto al contenido de humedad, este fue determinado según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1235. Granos y cereales. Determinación del contenido de humedad (INEN, 2012). De esta manera, se tomaron 5 g de muestras para posteriormente ser colocadas en la estufa (VWR Symphony, Colombia), por un periodo de 2 h a 130 °C, finalmente se aplicó la fórmula de diferencia de peso.

Determinación del contenido de Proteína

Se utilizó el método de Kjeldahl descrito en Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 2000) con ciertas modificaciones realizadas en el laboratorio de Nutrición y Calidad de la EESC-INIAP. Por lo cual, se pesó en un matraz micro-Kjeldahl 0,15 g de harina de

trigo y 1 g de catalizador, al matraz se le agregó 2,5 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, la digestión fue desarrollada a 75 °C por 30 minutos, y posteriormente se incrementó a 90 °C por 60 minutos, transcurrido este tiempo se dejó enfriar dentro de la cámara de extracción por 4 minutos, luego por los bordes del cuello del matraz se agregaron 7 ml de agua destilada y se dejó enfriar por unos minutos más. Una vez caliente la unidad destiladora, se procedió a adicionar la muestra en la cámara de ebullición, y el matraz fue lavado con 5 ml de H_2O , seguidamente, se añadieron 10 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 30 %. Encendido el equipo, se recolectaron 40 ml del destilado en un Erlenmeyer que contenía 10 ml de ácido bórico con dos gotas del indicador. El resultado presentó una tonalidad verdosa. Finalmente, el destilado es titulado con ácido clorhídrico 0,1N (HCl), considerándose por finalizado el proceso cuando la muestra se tornará de color violeta (AOAC, 2000).

Análisis del contenido de Gluten húmedo y seco

Se empleó el método tradicional de lavado estipulado por American Association of Cereal Chemists 38-52.01 (AACC, 2000), con ciertas modificaciones. De esta manera, en un vaso de precipitación de 50 ml, se pesó la cantidad de harina de trigo de acuerdo a la **Tabla 1**, luego se adicionaron 2,5 ml de solución salina de cloruro de sodio al 2 %. Se amasó la mezcla manualmente durante 2 min y concluido el tiempo se realizó un lavado de la masa con agua potable durante 5 min. Se eliminó el exceso de gluten realizando el lavado a presión mediante un tamiz y tul. Finalmente, se colocó el gluten húmedo en una

tostadora (marca Oster) con superficie plana, durante 5 min y así se obtuvo la cantidad de gluten seco (AACC, 2000).

El contenido de gluten se expresó en porcentaje %, de acuerdo con las **ecuaciones 1 y 2**.

Ecuación 1.

$$GH = \frac{\text{Peso del gluten humedo (g)}}{\text{peso de harina (g)}} \times 100\%$$

Ecuación 2.

$$GS = \frac{\text{Peso del gluten seco (g)}}{\text{peso de harina (g)}} \times 100\%$$

Tabla 1

Peso de la harina para evaluar el contenido de gluten (en 10 g de harina con 14 % de humedad)

| Humedad | Disciplina |
|-------------|------------------|
| (%) | Gramos de harina |
| (g) | Genómica |
| 9,0 – 9,9 | 9,5 |
| 10,0 – 10,9 | 9,6 |
| 11,1 – 11,8 | 9,7 |
| 11,9 – 12,7 | 9,8 |
| 12,8 – 13,6 | 9,9 |
| 13,7 – 14,4 | 10,0 |
| 14,5 – 15,3 | 10,1 |

Nota. Adaptado de “Curso de Métodos Analíticos de Tecnología de Cereales Menores” por Coca-Cadena, A., Ayala-Rojas, G., & Fajardo-Rodríguez, L. 1988. (Primera ed.) Colombia Tibaitatá, ICA, p.30

Fuerza de gluten

Se empleo el método descrito por Morris *et al.* (2005), el cual consistió en aplicar una prueba de sedimentación con dodecil sulfato de sodio (SDS), de la siguiente manera: en una probeta (con tapón) de 25 ml se pesó 1 g de harina de trigo y se adicionaron 6 ml de solución de azul de

bromofenol, con agitación mediante un vórtex durante 2, 4 y 40 s. se agregaron 19 ml de ácido láctico con SDS (17 ml de ácido láctico al 85 % y 480 ml de SDS). Se colocó el tapón en la probeta y se agitó la mezcla en un agitador oscilatorio por 1 min, posteriormente, se colocó la probeta sobre una base con fondo iluminado para sedimentar las muestras por un lapso de 14 min. Finalmente,

se tomó la lectura del volumen de sedimento al término de este tiempo.

Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar en arreglo bifactorial A*B (Tabla 2), donde el Factor A = correspondió a las harinas de las

9 variedades de trigo analizadas y el Factor B = a los 2 niveles de nitrógeno utilizados en el cultivo, con tres repeticiones, obteniéndose un total de 18 tratamientos. Para determinar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos evaluados, se empleó la prueba de Tukey ($p < 0,05$), mediante el software estadístico InfoStat versión libre.

Tabla 2

*Tratamientos evaluados en el Diseño Completamente Al Azar A*B de la investigación*

| Humedad | Humedad |
|---------|--|
| T1 | INIAP - COJITAMBO 92 + 0 % de nitrógeno |
| T2 | INIAP - COJITAMBO 92 + 120 % de nitrógeno |
| T3 | INIAP- QUILINDAÑA 94 + 0 % de nitrógeno |
| T4 | INIAP- QUILINDAÑA 94 + 120 % de nitrógeno |
| T5 | INIAP- SANGAY 94 + 0 % de nitrógeno |
| T6 | INIAP- SANGAY 94 + 120 % de nitrógeno |
| T7 | INIAP- COTACACHI 98 + 0 % de nitrógeno |
| T8 | INIAP- COTACACHI 98 + 120 % de nitrógeno |
| T9 | INIAP- ZHALAO 2003 + 0 % de nitrógeno |
| T10 | INIAP- ZHALAO 2003 + 120 % de nitrógeno |
| T11 | INIAP- MIRADOR 2010 + 0 % de nitrógeno |
| T12 | INIAP- MIRADOR 2010 + 120 % de nitrógeno |
| T13 | INIAP- SAN JACINTO 2010 + 0 % de nitrógeno |
| T14 | INIAP- SAN JACINTO 2010 + 120 % de nitrógeno |
| T15 | INIAP- VIVAR 2010 + 0 % de nitrógeno |
| T16 | INIAP- VIVAR 2010 + 120 % de nitrógeno |
| T17 | INIAP- IMBABURA 2014 + 0 % de nitrógeno |
| T18 | INIAP- IMBABURA 2014 + 120 % de nitrógeno |

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica y contenido de gluten

En la **Tabla 3** se detallan las características fisicoquímicas y contenido de gluten de los tratamientos en estudio (harinas de las 9 variedades de trigo evaluadas y los 2 niveles de nitrógeno utilizados en el cultivo).

En relación a la humedad no existió diferencia significativa ($p > 0,05$) en los 18 tratamientos estudiados (**Tabla 3**), siendo el

rango porcentual de humedad reportado para las harinas evaluadas en este estudio entre 11,43 % a 12,83 %. Estos valores guardan relación con investigaciones, donde se ha reportado un contenido de humedad de 13,50 % en harina de trigo (Vásquez-Castillo & Matos-Chamorro, 2021; Pérez-Carrión 2022).

Además, es necesario mencionar que, los valores de humedad encontrados en las harinas de los 18 tratamientos analizados en la presente investigación se encuentran dentro del rango máximo permitido por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 616, que establece un

contenido de humedad máximo de 14,5 % en harina de trigo, con el fin de asegurar la calidad del grano en el almacenamiento postcosecha (INEN, 2006).

Análisis de gluten húmedo y seco

En cuanto al contenido de gluten húmedo (Tabla 3) de las harinas de los diferentes tratamientos analizados, esta variable presentó diferencias estadísticas ($p < 0,05$), demostrando que, los tratamientos T1, T3, T5, T9, T11, T13, T15 y T18 obtuvieron el menor contenido de gluten húmedo, mientras que, el T10 con 38,89 % destacó por un mayor contenido. Con ello se demuestra que, al utilizar 120 % de nitrógeno como fertilizante en el cultivo de trigo es posible obtener mayor cantidad de gluten húmedo en las harinas, lo cual es benéfico en la panificación, puesto que, durante la fermentación, el gluten retiene el dióxido de carbono resultante y asegura mayor volumen en el pan (Sciarini *et al.*, 2016). Por otro lado, diversas investigaciones han reportado un contenido de gluten húmedo entre un 25 a 26,58 % (Cazares-Torres, 2022); todas coincidiendo en que la presencia de gluten húmedo en la harina estaba relacionada con el nitrógeno empleado en la etapa de fertilización del trigo, siendo este transferido al grano y a la harina sumado a la presencia de la gliadina, una proteína que interviene en la formación del gluten (Lerner *et al.*, 2015).

De igual manera, los resultados del análisis de gluten seco se presentan en la Tabla 3 y registran diferencias estadísticas ($p < 0,05$). Demostrando que, los tratamientos donde se utilizó 120 % de nitrógeno en los cultivos de trigo, se obtuvo mayor contenido de gluten seco en la harina, lo que para nuestro caso se reflejó en valores porcentuales de 8,38 % a 15,87 % de gluten seco. En nuestro caso es factible asociar un control de estos factores ambientales (temperatura y humedad relativa) y externos (fertilización y disponibilidad de agua), lo que pudo facilitar la presencia del gluten en nuestras muestras (Dillchneider-Loza, 2020).

Contenido de proteína

En la evaluación del contenido de proteína las medias de los tratamientos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$), por efecto de los diferentes niveles de nitrógeno aplicado al cultivo, determinándose el mayor contenido en los tratamientos: (T2, T10 y T18), donde se utilizó nitrógeno al 120 %; por el contrario, las muestras que no recibieron nitrógeno registraron el contenido de proteína más bajo, como se puede ver en la Tabla 3.

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia condiciona la obtención de contenidos adecuados de gluten y de proteína en los granos de trigo (Xiaoyang *et al.*, 2022), por ende creemos que esto favoreció el alto contenido en las harinas que analizamos. Por otro lado, Calvo-Carrillo *et al.* (2020), señalan que la calidad panadera del trigo se asocia frecuentemente con los niveles de proteína en grano, la cantidad y calidad de gluten y las propiedades reológicas de la masa. En este sentido, se considera que las harinas obtenidas de las variedades de trigo (INIAP-COJITAMBO 92; INIAP-ZHALAO 2003 e INIAP-IMBABURA 2014), cumplen con estas características y podrían ser empleadas a nivel industrial.

Propiedades reológicas de las harinas

En la Tabla 4, se presentan los resultados obtenidos respecto a la absorción de agua de las harinas obtenida a partir de las 9 variedades de trigo analizadas. Variable que demostró diferencias significativas ($p < 0,05$), estableciéndose la mayor absorción de agua en las harinas INIAP-COJITAMBO 92 (66,08 %); INIAP-COTACACHI 98 (65,65 %) e INIAP-IMBABURA 2014 (65,55 %), en comparación a la harina obtenida de la variedad INIAP-QUILINDAÑA 94 con una absorción de agua igual al 58,93 %, que obtuvo un menor porcentaje. En relación a este hallazgo, se cree que las harinas fuertes, es decir aquellas que presentan gran

cantidad y calidad de proteínas, así como de gluten en su contenido, pueden absorber mayor contenido de agua, lo cual pudo favorecer los 3 tratamientos que para nuestro caso arrojaron los valores más altos de absorción (Sánchez-Aguilera *et al.*, 2023). Cabe mencionar que, una capacidad de absorción de agua mayor al 65 %, indica una harina de buena calidad, lo que

a su vez se traducirá en un buen rendimiento en la producción de pan, mientras que valores menores < 60 %, indica una harina de inferior calidad por lo cual esta deberá verificarse con la información de tanto de cantidad como de calidad de gluten (Lascano, 2022). En la presente investigación los resultados obtenidos, se ubicaron por encima de este parámetro (> 65 %).

Tabla 3

Efecto de la fertilización nitrogenada en los parámetros de calidad de las variedades nacionales de trigo (T. aestivum L) evaluados

| Tratamientos | Humedad | Gluten húmedo | Gluten seco | Proteína |
|--------------|---------|---------------|-------------|----------|
| | (%) | (%) | (%) | (%) |
| T1 | 11,43a | 19,55a | 9,91b | 11,72b |
| T2 | 12,0a | 33,52c | 13,02c | 14,26f |
| T3 | 11,5a | 18,18a | 9,66b | 11,40c |
| T4 | 12,8a | 32,73b | 14,61d | 13,63e |
| T5 | 11,73a | 19,73a | 9,96b | 9,85b |
| T6 | 12,45a | 34,71d | 14,09d | 13,43e |
| T7 | 11,0a | 21,12ab | 8,89a | 10,07b |
| T8 | 12,02a | 34,40c | 15,87e | 13,40e |
| T9 | 11,30a | 18,06a | 9,84b | 8,85a |
| T10 | 12,20a | 38,89f | 14,71d | 14,06f |
| T11 | 11,9a | 17,47a | 8,38a | 10,34b |
| T12 | 12,48a | 36,23e | 14,05d | 13,80a |
| T13 | 11,83a | 19,18a | 10,33c | 11,04c |
| T14 | 12,45a | 32,09ab | 13,72d | 13,56e |
| T15 | 11,80a | 21,45a | 9,94b | 10,94bc |
| T16 | 12,21a | 33,94c | 14,10d | 13,30a |
| T17 | 11,57a | 18,42a | 8,63a | 10,93bc |
| T18 | 12,02a | 31,36c | 15,09e | 13,93f |

Nota. Letras diferentes asociadas con los valores dentro de la misma columna indican una diferencia significativa al nivel de $p < 0,05$, con la prueba de Tukey.

Estabilidad de la masa

En cuanto a la estabilidad de la masa de la harina de trigo, se aprecia que las medias registraron diferencias significativas ($p < 0,05$) (Tabla 4), determinándose la mayor estabilidad en las masas provenientes de las variedades

INIAP-MIRADOR 2010 e INIAP-VIVAR 2010 presentando cada una un tiempo de consistencia de 7,34 y 7,57 min, respectivamente. Mientras que, la menor estabilidad se obtuvo con la variedad INIAP- COTACACHI 98 cuya masa tan solo mantuvo su máxima consistencia en un tiempo de 1,97 min. Cabe mencionar que

la estabilidad de la masa está estrechamente relacionada con el genotipo y condiciones ambientales de los cultivos (De la Horra, 2015). El intervalo de tiempo de estabilidad logrado con las dos variedades mencionadas, es relevante si se compara con lo reportado por Urbina-Dicao *et al.* (2023), quienes determinaron una estabilidad de 4,67 min en harina de quinoa y 4,17 min en harina de amaranto, harinas de dos especies que también se caracterizan por su valor nutricional y comercial.

Debilitamiento de las proteínas

Al evaluar el debilitamiento de las proteínas (C2) en las harinas obtenidas de la especie *Triticum aestivum* L, se encontró que las 9 variedades evaluadas, presentaron una masa con menor debilitamiento de las proteínas, con valores entre 0,17 Nm a 0,40 Nm (Tabla 4). Es necesario mencionar que, valores bajos de las proteínas (C2) indican alta actividad diastásica en las masas, incidio también en la baja consistencia de la masa, la cual disminuye a consecuencia del debilitamiento de la proteína (Hasna *et al.*, 2020).

Por otro lado, los resultados obtenidos pueden afectar negativamente la calidad final del producto horneado, puesto que, la masa pierde la capacidad de retener el CO₂ durante la fermentación y no alcanza una textura adecuada. En consecuencia, es importante mantener un equilibrio adecuado entre el desarrollo del gluten y el debilitamiento de las proteínas, con el fin de obtener resultados óptimos al trabajar con harina de trigo (Bustillos, 2022).

Gelatinización del almidón

Los resultados de gelatinización del almidón (C3) presentados en la Tabla 4, reflejan diferencias significativas ($p < 0,05$), estableciendo el valor más alto en la variedad INIAP-VIVAR 2010 con una viscosidad de 1,48 Nm. Diferente sucedió con las variedades INIAP-COJITAMBO 92 (1,12 Nm), INIAP-COTACACHI 98 (0,94 Nm) e INIAP-

MIRADOR 2010 (1,19 Nm), que arrojaron valores inferiores de gelatinización.

Respecto a una menor estabilidad del gel del almidón en el trigo, este resultado podría estar relacionado con una mayor actividad amilásica debido a que su presencia tiende a generar una mayor proporción de almidón dañado (Barrera, 2014). Estos resultados difieren con lo reportado por Hasna *et al.* (2020), quienes obtuvieron un valor de 2,70 Nm en gelatinización de harina de patata nativa (*Solenostemon rotundifolius*). La gelatinización del almidón se refiere a la fase de hinchamiento del almidón, a medida que el almidón se hincha, se forma una red de gel que retiene la humedad en el producto horneado (Guo *et al.*, 2018). En este sentido la variedad de harina (INIAP-VIVAR 2010) podría considerarse con potencial uso para el proceso de horneados.

Actividad Amilácea

Respecto a la actividad amilácea (C4) de la harina evaluada en las diferentes variedades de trigo (Tabla 4), se observó diferencia significativa en los tratamientos ($p < 0,05$), determinándose un contenido general de amilácea dado entre 0,29 Nm - 1,15 Nm para las variedades INIAP-COJITAMBO 92 e INIAP-VIVAR 2010, respectivamente. Estos resultados se pueden atribuir a la fase de horneado y a la gelatinización del almidón. Cuando el almidón se calienta en un ambiente con alta humedad, los macropolímeros sufren un cambio estructural irreversible asociado con una mayor viscosidad y una estructura abierta y más flexible, desarrollando una mayor susceptibilidad a la hidrólisis enzimática (Di Rosa *et al.*, 2023).

Sin embargo, los resultados obtenidos son inferiores a lo hallado por Kaurcorres & Gill (2020), quienes obtuvieron un contenido de amilácea de 2,70 % en harina de trigo y 2,40 % en harina de quinoa. Además, se menciona que, la actividad amilácea de la harina de trigo se refiere a la capacidad de las enzimas amilasas presentes

en la harina para descomponer el almidón en azúcares más simples durante el proceso de fermentación y cocción (Hasna *et al.*, 2020). Por lo cual, consideramos la variedad INIAP-VIVAR

2010 puede cumplir con estas características y aportar en la actividad fermentativa de gran escala industrial.

Tabla 4

Propiedades reológicas de las harinas obtenida de las 9 variedades de trigo

| Variedades de trigo | Absorción de agua (%) | Estabilidad de la masa (min) | C2 (Nm) | C3 (Nm) | C4 (Nm) | C5 (Nm) |
|-------------------------|-----------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| INIAP - COJITAMBO 92 | 66,08 e | 4,37 c | 0,29 a | 1,12 a | 0,29 a | 0,28 a |
| INIAP- QUILINDAÑA 94 | 58,93 a | 3,16 b | 0,26 a | 1,35 b | 0,93 c | 1,15 c |
| INIAP- SANGAY 94 | 61,98 c | 5,66 d | 0,34 a | 1,36b | 0,61 b | 0,82 b |
| INIAP- COTACACHI 98 | 65,65 e | 1,97 a | 0,40 a | 0,94 a | 0,54 b | 0,70 b |
| INIAP- ZHALAO 2003 | 60,17 b | 2,62 b | 0,33 a | 1,38 b | 1,02 c | 1,34 c |
| INIAP- MIRADOR 2010 | 64,68 d | 7,34 f | 0,35 a | 1,19 a | 0,66 b | 0,88 b |
| INIAP- SAN JACINTO 2010 | 64,48 d | 6,04 e | 0,39 a | 1,33 b | 0,85 c | 1,11 c |
| INIAP- VIVAR 2010 | 60,17 b | 7,57 f | 0,17 a | 1,48 c | 1,15 c | 1,58 d |
| INIAP- IMBABURA 2014 | 65,55 e | 6,27 e | 0,34 a | 1,38 b | 1,01 c | 1,41 d |

Nota. Letras diferentes asociadas con los valores dentro de la misma columna indican una diferencia significativa al nivel de $p < 0,05$, con la prueba de Tukey.

Retrogradación del almidón

Finalmente, analizando la variable retrogradación del almidón (C5), en las masas representativas de las distintas variedades de trigo se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$). Se demostró que las variedades de harina que formaron almidón retrogradado posterior al proceso de enfriamiento del almidón presente en la harina, correspondieron a los tratamientos: INIAP-VIVAR 2010 y INIAP-IMBABURA 2014 con valores de 1,58 Nm y 1,41 Nm, respectivamente.

En cambio, la variedad INIAP-COJITAMBO 92 presentó la menor retrogradación del almidón con un valor igual a 0,28 Nm. De este modo, se enfatiza que, un mayor porcentaje de amilosa permitiría la obtención de altos porcentajes de almidón retrogradado en la harina, lo que supone un papel fundamental en el control de la

textura y calidad de los productos que contienen almidón (Pablos-Alcalde, 2018).

Conclusiones

Las características fisicoquímicas y contenido de gluten de los 18 tratamientos estudiados, evidenció que las diferentes variedades de trigo y distintos niveles de nitrógenos utilizado en el cultivo influyen significativamente en la composición nutricional, siendo la harina del T10 la que obtuvo mayor concentración de gluten húmedo, mientras que, el T8 proporcionó mayor cantidad de gluten seco y el T2 presentó mayor contenido de proteína.

Respecto a las propiedades reológicas se concluye que la harina obtenida de la variedad INIAP COJITAMBO 92 presentó mayor capacidad de absorción de agua, mientras que, la harina de la

variedad INIAP- VIVAR 2010 destacó en la mejor estabilidad de masa, gelatinización del almidón, actividad, actividad amilácea y retrodegradación de almidón, lo cual la hace promisorio como materia prima en la elaboración de productos de panificación y por ende potenciar la industria panadera en el país.

Referencias

- American Association of Cereal Chemists [AACC]. (2000). *Approved Methods of the AACC*. 10th Edition the Association. Sección 38-52.01 USA. <https://www.scrip.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1488371>
- Association of Official Analytical Chemist [AOAC]. (2000). *Official Methods of Analysis*, Section 954.10. Arlington, USA. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Barrera, G. N. (2014). *Efecto del almidón dañado sobre las propiedades de las masas panarias y la calidad de los panificados* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Córdoba. Repositorio Institucional: <https://core.ac.uk/reader/72040800>
- Bustillos, K. (2022). *Caracterización fisicoquímica y reológica de la harina de trigo (Triticum aestivum) obtenida de los pasajes del proceso de molienda en Molinos e Industrias* [Tesis de grado]. Quito. Universidad Técnica de Ambato. Repositorio Institucional: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/36531/1/CAL%20011.pdf>
- Calvo-Carrillo, M. C., López-Méndez, O. X, Carranco-Jáuregui, M. E., & Marín, J. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp*) y chícharo (*Pisum sativum* L.). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud Biotecnia*. XXII (3), 116-124. <https://www.scielo.org.mx/pdf/biotecnia/v22n3/1665-1456-biotecnia-22-03-116.pdf>
- Cazares-Torres, M. (2022). "Evaluación físico-química y farinográfica de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) obtenida en los pasajes de molienda de la industria "Molinos Miraflores" [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica de Ambato. Repositorio Institucional: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/834/1/AL460%20Ref.%203353.pdf>
- Coca-Cadena, A; Ayala-Rojas, G., & Fajardo-Rodríguez, L. (1998). *Curso de Métodos Analíticos de Tecnología de Cereales Menores*. (Primera ed.). Colombia Tibaitatá, ICA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17598>
- De la Horra, A., Seghezze, M., Molfese, P., & León, A. (2015). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia*, 29(2). http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2012000200003
- Di Rosa, C., De Arcangelis, E., Vitelli, V., Crucillà, S., Angelicola, M., Trivisonno, M. C., . . . Messia, M. C. (2023). Effect of Three Bakery Products Formulated with High-Amylose Wheat Flour on Post-Prandial Glycaemia in Healthy Volunteers. *Foods*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/foods12020319>
- Dillchneider-Loza, A. (2020). *Efecto de la fertilización nitrogenada y del ambiente sobre el rendimiento y la calidad panadera de dos variedades de trigo en la región semiárida Pampeana*. Universidad Nacional de Pampa. https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/7213/atp-dilefe020_c.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dubat, A & Boinot, D.(2012). *Mixolab applications*, h. (2012). Obtenido de <https://concereal.net/wp-content/uploads/2017/03/2012-CHOPIN-Mixolab-Applications-Handbook-EN-SPAIN-3.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2022). *Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura .. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/#:~:text=El%20pron%C3%B3stico%20relativo%20a%20la%20utilizaci%C3%B3n%20total%20de%20trigo%20se,el%20nivel%20de%202022%2F23>.
- Guo, P., Yu, J., Wang, S., & Wang, S. (2018). Mechanisms of starch gelatinization during heating of wheat flour and its effect on in vitro starch digestibility. *Food Hydrocolloids*(82), 370-378. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.012>
- Hasna, T., Muchlisyyah, J., Wardani, S., & Estiasih, T. (2020). Effect of pregelatinization on the physicochemical effects and Functional properties of *Solenostemon rotundifolius*. flour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/524/1/012014/pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1235. Granos y cereales. Determinación del contenido de humedad*. Servicio Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] (2006). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 616. Harinas de trigo. Requisitos*. Servicio Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador. <https://archive.org/details/ec.nte.1235.1987>
- Kaurcorres, H., & Gill, B. S. (2020). Changes in physicochemical, nutritional characteristics and

Zhang, A. (2020). Effect of wheat flour with different quality in the process of making flour products. *Int. J. Metrol. Qual. Eng*, 6(6). <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2020005>