

Propiedades fisicoquímicas de harinas de trigo y avena de alta calidad panadera

Physicochemical properties of wheat and oat flours of high technological quality

Valentina Astiz*

Estación Experimental Agropecuaria Cesáreo Naredo, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina

Maria Victoria Salinas

Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA) (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires), Argentina

Maria Cecilia Puppo

Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA) (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Revista de la Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidad: Semestral

vol. 121, núm. 2, 2022

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 08 Mayo 2022

Aprobación: 28 Julio 2022

URL: <http://portal.amelica.org/amei/journal/23/233665009/>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e113>

Autor de correspondencia: astiz.valentina@inta.gob.ar



Resumen

El pan es un alimento de consumo masivo que puede mejorarse nutricionalmente mediante el agregado de distintos ingredientes. La harina de avena (*Avena sativa* L.) con harina de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) de buena calidad industrial se podrían combinar para obtener productos panificados con características aceptables para el consumidor y mejoras nutricionales. El objetivo de este trabajo fue analizar fisicoquímicamente las características de harinas de diferentes variedades de trigo y avena para ser utilizadas en panificación. Para esto se utilizaron tres variedades de trigo pan y nueve variedades de avena, dichos cultivares provistos por la Chacra Experimental INTA-Barrow. Se realizaron distintas pruebas de calidad industrial de granos y harinas y una caracterización nutricional/química de las mismas. Finalmente, se evaluó su vida útil. Las tres variedades de trigo pan presentaron buena calidad de grano. Dentro de las características de calidad industrial, B. Meteoro fue superior. Se logró ajustar un protocolo para el tratamiento térmico de los granos de avena y para la determinación de la actividad lipasa de las muestras. La calidad nutricional de las variedades de avena se caracterizó por elevados contenidos de proteína, mientras que los contenidos de ceniza, fibra y lípidos fueron similares a los observados en la bibliografía. Los b-glucanos mostraron, en todas las variedades, valores superiores a los descriptos en la bibliografía. El análisis de vida útil de harinas, durante 10 meses de almacenamiento, no mostraron cambios según los indicadores utilizados y los límites definidos por el Código Alimentario.

Palabras clave: Trigo, Avena, β -glucanos, Absorción de agua, Masas, Calidad industrial

Abstract

Bread is a massive consumption food that can be nutritionally improved by adding different ingredients. Oat flour (*Avena sativa* L.) in combination with bread wheat (*Triticum aestivum* L.) flour of good industrial quality, bakery products with acceptable characteristics for the consumer, and nutritional improvements could be obtained. The objective of this work was to analyze the characteristics of flours from different varieties of wheat and oats to be used in baking. Three varieties of bread wheat and nine varieties of oats were used, these cultivars were provided by the INTA-Barrow Experimental Field. Different industrial quality tests of grains and flours and a nutritional/chemical characterization were made. Finally, its useful life was evaluated. The grain quality of bread wheat showed that the three materials had a good performance. Within the characteristics of industrial quality, B. Meteoro was the best. It was possible to adjust a protocol for the heat treatment of the oat grains and the determination of the lipase activity of the samples. The oat varieties showed higher protein, ash, fiber, and lipid contents and were similar to those observed in the literature. In all the varieties, higher values of b-glucans were found. The analysis of the shelf life of flours during 10 months of storage did not change according to the indicators used and the limits defined by the Alimentarius Codex.

Keywords: Wheat, Oat, β -glucans, Water absorption, Dough, Industrial quality

INTRODUCCIÓN

El trigo ha constituido desde el principio de los tiempos la base de la alimentación de la sociedad occidental. En los países donde el consumo de pan está muy extendido, los productos del trigo proveen aproximadamente una quinta parte del total de calorías de la dieta. Los cereales son una buena fuente de hidratos de carbono de lenta asimilación, una fuente importante, aunque incompleta, de proteínas y con poca cantidad de lípidos. Ciertos componentes del trigo tales como la fibra, vitaminas, minerales se concentran en el salvado y en el germen, por lo que las harinas blancas contienen una menor proporción de estos componentes que las harinas integrales (Gómez Pallarés et al., 2017).

El trigo es un cereal único ya que sus proteínas insolubles tienen la capacidad de formar gluten, una red tridimensional que puede retener los gases producidos durante la fermentación. Esta condición depende de la variedad, el ambiente de cultivo y la molienda, cuyo proceso consiste en la eliminación del pericarpio del grano seguido de la reducción gradual del tamaño de la partícula de harina y la posterior separación de los productos por tamizado. La combinación de las harinas que se producen en el molino es la harina blanca estándar. El destino final de las harinas es muy variado, pero la gran mayoría se destina a la elaboración de pan en sus diferentes versiones. Según la Federación Argentina de la Industria Molinera, la molinería ocupa un lugar relevante dentro de la producción agroindustrial del país, en la campaña 2019/20 se registró una producción de 6,5 millones de toneladas (Tn). El consumo de harina de trigo en nuestro país fue de 117,7 Kg/hab/año para 2018/19, posicionándose como el quinto país con mayor consumo humano del mundo (Alimentos Argentinos, 2019).

En la Argentina, las variedades de trigo se clasifican en tres Grupos de Calidad teniendo en cuenta sus aptitudes industriales: Grupo I (trigos correctores para panificación industrial), Grupo II (trigos para panificación tradicional) y Grupo III (trigos para panificación directa) (Comité de Cereales de Invierno de la Comisión Nacional de Semillas, 2021).

La avena (*Avena sativa* L.) es un cereal que se cultiva en todo el mundo para la alimentación humana y animal. Comparado con otros cultivos, se dice que la avena es más adecuada para la producción en ambientes marginales, incluyendo climas fríos, húmedos y suelos con baja fertilidad (Hoffmann, 1995). Las principales áreas de cultivo de avena se encuentran entre las latitudes de 40° y 60°: Norte de América, Europa y Asia; una pequeña proporción de la producción mundial de avena se origina en el hemisferio sur, es decir, Sudamérica, Australia y Nueva Zelanda (Buerstmayr et al., 2007). Argentina ocupa el puesto número diez en la producción mundial de avena, en la campaña 2019/20 se produjeron 600.105 Tn (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2020).

Tradicionalmente, la avena ha sido utilizada en alimentación animal (Andersson & Börjesdotter, 2011; Marshall et al., 2013), solo el 10% de la avena producida se utiliza para consumo humano (Andersson & Börjesdotter, 2011). Actualmente, el grano de avena y sus derivados pertenecen a un grupo de alimentos modernos, saludables y funcionales. La gente, en especial de los países desarrollados, consumen avena de distintas formas: pasta, pan, panecillos, galletas, pasteles, entre otros (Andersson & Börjesdotter, 2011). Este consumo se ha producido por los efectos benéficos que posee este grano, por ejemplo, debido al contenido de β -glucanos, compuestos prebióticos que mejoran el sistema cardiovascular, reduciendo el nivel de colesterol en la sangre (Ryan et al., 2007). La avena es una excelente fuente de proteínas, lípidos, vitaminas, minerales y antioxidantes (Peterson, 2001). La composición única del grano de avena provocó un aumento en el interés de las industrias de alimentos, productos farmacéuticos y cosméticos (Marshall et al., 2013; Boczkowska & Onysk, 2016).

El objetivo del presente trabajo fue analizar las características fisicoquímicas de harinas de diferentes variedades de trigo y avena para ser utilizadas solas o combinadas en mezclas para panificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

GRANOS

TRIGO.

Se emplearon tres variedades puras de trigo pan (*Triticum aestivum* L.): Buck Meteoro (B. Meteoro), MS INTA BONAERENSE 514 (MS 514) y ACA 356 clasificadas como Grupo I de calidad industrial.

AVENA.

Se trabajó con nueve variedades puras de avena (*Avena sativa* L.) de gran importancia industrial en Argentina: Bonaerense INTA Calén (INTA Calén), Bonaerense INTA Maná (INTA Maná), Bonaerense INTA Maja (INTA Maja), Bonaerense INTA Yapa (INTA Yapa), Bonaerense INTA Aikén (INTA Aikén), Bonaerense INTA Sureña (INTA Sureña), Elizabeth INTA, Bonaerense INTA Payé (Payé INTA) y Paloma INTA. Todos estos cultivares mencionados fueron provistos por el grupo de mejoramiento de la Chacra Experimental Integrada INTA- Barrow.

CARACTERIZACIÓN DE CALIDAD DE LOS GRANOS

Debido a que la caracterización industrial de los granos de trigo resulta importante para definir cuál de las variedades puras es la más apropiada para utilizar en la elaboración de premezclas con avena para la elaboración de panificados en el presente trabajo se realizarán las siguientes determinaciones.

PESO DE 1000 GRANOS (PMG)

Se determinó mediante el conteo de 1000 granos de trigo sanos, con un contador electrónico y posteriormente se pesó en balanza.

PESO HECTOLÍTRICO (PH)

Representa el peso de un volumen de 100 litros de trigo tal cual, expresado en Kg/hl. Se determinó utilizando una balanza Schopper de acuerdo a lo establecido en las Normas Argentinas de Comercialización XX (Trigo) y III (Avena).

CONTENIDO DE PROTEÍNA DEL GRANO (PROT)

Se utilizó el método de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) con un equipo NIRS DS 2500 (FOSS, Hillerod, Dinamarca).

DUREZA DEL GRANO

Representa la cohesión del endosperma, la fuerza de unión entre proteína y almidón y es la razón de distintas formas de propagación de las fisuras durante la molienda. Se determinó mediante el índice de tamaño de partícula o PSI por sus siglas en inglés (Particle Size Index) (AACC 55-30).

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL GRANO DE AVENA Y MEDIDA DE ACTIVIDAD LIPASA

Con el fin de inactivar enzimas lipolíticas presentes en la avena y que resultan indeseables en la utilización de la avena para consumo humano, se realizó un tratamiento térmico utilizando un microondas comercial (Panoramic, Argentina), a potencia máxima, según lo descrito por Keying et al. (2009). Se diseñó un protocolo con el objeto de identificar el par tiempo-temperatura de permanencia necesaria, que permita la inactivación de la lipasa en avena. Para dicha inactivación se colocó en el centro del plato del microondas una bolsa con 20 g de avena durante 30, 45 y 60 s; y se trabajó con una muestra control sin tratar.

Se tomó la temperatura intergranaria de inicio de las muestras, con un termómetro pincha carne colocado en el centro de la muestra. Al finalizar la exposición de la muestra a los diferentes tratamientos de microondas, se volvió a tomar y registrar la temperatura alcanzada en el centro de la muestra. Luego, la muestra se vertió en una bandeja con papel para secar el vapor de agua producido. Una vez secos y fríos, los granos se molieron.

MEDIDA DE LA ACTIVIDAD DE LA ENZIMA LIPASA

Se procedió a desgrasar las harinas de avena siguiendo el protocolo descrito por Peterson (1998). Para ello, un gramo de muestra molida se agitó con dos porciones de 10 ml de éter de petróleo durante 30 minutos, se centrifugó a 2000 g por 10 min y se descartó el solvente. La muestra desgrasada se secó en bloque seco bajo campana a 50°C.

Con la harina de avena desgrasada, se procedió a medir la actividad de la enzima lipasa, según lo descrito por Peterson (1998). Se midieron todos los tratamientos por triplicado y todos tuvieron una muestra control. Se pesaron 0,5 g de muestra en tubos de centrifuga de 15 ml con tapa. Se agregaron 98 µl de aceite comercial Alto Oleico (Cañuelas, Argentina). Luego se agregaron 330 µl de buffer (0,05 M Tris-HCl; pH= 7,5; con 1% de Triton X-100). Se mezcló con varilla de vidrio y se incubó a 37°C por 1 h en baño térmico. A los controles de cada tratamiento térmico se les agregó 100 µl de HCl 1N inmediatamente para detener la reacción. Luego de la incubación, se les agregó a todos los tubos 100 µl de HCl 1N. El Oleico hidrolizado del aceite se extrajo con isooctano. Para esto, se

agregaron 5 ml de isooctano a cada muestra y se hirvieron por 5 min. Las muestras se pasaron por vortex y se centrifugaron a 2000 g por 10 min.

Para la colorimetría, se tomaron 4 ml del sobrenadante y se le agregó 1 ml de reactivo de Cooper que usa acetato cúprico-pyridina como agente de revelado. El reactivo de Cooper fue preparado al 5 % m/v en agua destilada, luego filtrado y se ajustó el pH con pyridina a 6,1. Luego, se mezclaron las fases con vortex, se dejó reposar por 10-20 s y se midió la absorbancia en espectrofotómetro a 715 nm. Para el cálculo y expresión de los resultados, se confeccionó una curva standard de absorbancia (715 nm) vs concentración de oleico en isooctano (mmol/5 ml de isooctano) entre 0 y 60 mmol oleico/5 ml de isooctano. Por interpolación, se utilizó esta curva para convertir los valores de absorbancia en concentración de oleico. Por último, y tomando el control (avena sin tratamiento térmico) como el valor de 100 % actividad lipasa, se calcularon los porcentajes de actividad de los demás tiempos de exposición al microondas. De esta manera, los resultados quedaron expresados en porcentaje de actividad lipasa en función del tiempo de desactivación utilizado.

MOLIENDA DE TRIGO PAN

Se preparó y acondicionó la muestra (humedad 15,5 %) según Norma IRAM 15.854-I (IRAM, 2008). La molienda se efectuó en un molino experimental Bühler 202 (Bühler, Uzwil, Suiza), de acuerdo al método Bühler: Norma IRAM 15.854-II (IRAM, 2008).

MOLIENDA DE AVENA

Para la obtención de la harina de avena, la pepita se molió empleando un molino Perten 120 (Perten, Hagersten, Suecia) con una malla de 0,5 mm. De esta manera se obtuvo harina de avena que cumplía con las especificaciones del CAA, Capítulo IX, Artículo 698, 2018.

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS HARINAS DE TRIGO

COLOR

Se midieron los parámetros en el espacio CIELAB de luminosidad (L^*), rojo (a^*) y amarillo (b^*), empleando el equipo Minolta Chromameter CR-310 (Konica Minolta, Tokio, Japón) utilizando el método triestímulo Hunter-Lab.

ALMIDÓN DAÑADO

Se utilizó el micro-método propuesto por Boyaci et al. (2004); basado en la acción de la enzima α -amilasa sobre el almidón dañado en condiciones estandarizadas y la cuantificación indirecta de azúcares liberados por la enzima a través de refractometría.

ÍNDICE DE RETENCIÓN DE AGUA ALCALINA (AA)

Se determinó de acuerdo al método 56-10 (AACC, 2000).

ÍNDICE DE CAPACIDAD RETENCIÓN DE SOLVENTES

Se determinó de acuerdo al método 56-11 (AACC, 2000). Este ensayo incluyó soluciones de ácido láctico-AL- (5 %p/p), sacarosa-SAC- (50 % p/p), carbonato de sodio-CS- (5 % p/p) y agua desionizada, cuya retención está asociada a diferentes tipos de componentes químicos de las harinas.

GLUTEN

Se determinó a través del método IRAM 15864-II (IRAM, 2013) utilizando el equipo Glutomatic (Perten, Hagersten, Suecia). Se informó el contenido de gluten húmedo (GH), seco (GS) e índice de gluten (IG).

ÍNDICE DE SEDIMENTACIÓN EN DODECIL SULFATO DE SODIO (IS-SDS)

(Método 56-70.01, AACC, 2000). Con este método se evaluó indirectamente la calidad de proteína y la fuerza del gluten.

ACTIVIDAD A-AMILÁSICA

Se evaluó a través del Índice de Caída (Falling Number, FN), según Norma IRAM 15862 (IRAM, 2003), empleando el equipo Falling Number Mod. 1400 (Perten, Hagersten, Suecia).

FARINOGRAMA

Se utilizó un Farinógrafo Brabender-300-g (Brabender OHG, Duisburg, Alemania) según Norma 15855 (IRAM, 2000) con el fin de evaluar la calidad de la harina y su aptitud frente al amasado.

ALVEOGRAMA

Se utilizó un Alveógrafo Chopin (Alveo Lab Graph, Chopin Technologies, Villeneuve-La-Garenne, Francia), de acuerdo a la Norma IRAM 15857 (IRAM, 2012).

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS HARINAS DE TRIGO Y AVENA

HUMEDAD (HUM)

La determinación de humedad se realizó por gravimetría a través del método indirecto que se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Se realizó según método IRAM 15850-1 (IRAM, 2009).

CENIZAS

Se determinó el contenido de cenizas empleando el método directo según AACC 08-01 (2000) basado en la oxidación completa de la materia orgánica, quedando las cenizas en el residuo.

Proteínas (PROT)

La determinación del contenido de proteínas se realizó por el método de Kjeldahl de acuerdo al método (AOAC 920-152, 2000).

LÍPIDOS

Para harina de trigo la determinación de lípidos se realizó por extracción semi-continua con una mezcla de solventes orgánicos para su extracción, utilizando una modificación de la técnica AACC 30-25.01 (2000) en la cual se emplea el extractor de Soxhlet. Para harina de avena, el contenido de lípidos se determinó empleando el método de Ratzlaff, según método 30-10-01 (AACC, 2000).

FIBRA DIETARIA TOTAL (FDT)

Se determinó el contenido de fibra dietaria total (FDT) de las harinas utilizando el método enzimogravimétrico método AACC 32-05 (AACC, 2000).

PENTOSANOS SOLUBLES E INSOLUBLES

La cuantificación de pentosanos totales y solubles se realizó siguiendo el método del Orcinol-HCl con las modificaciones realizadas por Hashimoto et al., 1987. Los pentosanos insolubles se estimaron por diferencia entre los totales y los solubles.

CARBOHIDRATOS (H DE C)

Se calcularon por diferencia los carbohidratos totales diferentes de fibra, dado que el cien por ciento de las muestras están formadas por la suma de los porcentajes de agua, cenizas, lípidos, proteínas, fibra dietaria y carbohidratos totales distintos de la fibra.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE B-GLUCANOS

Se realizó utilizando el kit de ensayo Megazyme (1-3) (1-4) β -D-glucano (K-TDRF, Megazyme, Wicklow, Irlanda) según AACC 32-23 (2000).

VIDA ÚTIL DE LAS HARINAS DE TRIGO Y AVENA

La evaluación de la vida útil de las harinas resulta de suma importancia puesto que nos da idea del tiempo disponible para su uso sin que ocurra el deterioro de las características organolépticas que puedan perjudicar el producto final y provocar el rechazo por parte de los consumidores.

Se realizó la molienda de las harinas de trigo y avena y se las almacenó durante 10 meses en bolsa de papel madera blancas (Fiestissima Liniers, dimensiones: 24 cm x 12 cm x 7 cm), correctamente cerradas a temperatura ambiente (entre 16 y 22°C). Durante ese periodo, una vez al mes se determinó acidez titulable, potencial de hidrógeno y humedad.

DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ TITULABLE

Se realizó a través de la valoración de una suspensión de harina (10 % p/v) con hidróxido de sodio (0,1 N) utilizando el método 02-31 de AACC (AACC, 2000).

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)

Se registró el grado de acidez presente en una suspensión acuosa de la harina, utilizando un peachímetro (Ohaus, Argentina) de acuerdo al método 02-52 AACC (2000).

HUMEDAD

Se determinó el contenido de agua según el método IRAM 15850-1 (IRAM, 2009).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En todos los casos las determinaciones se efectuaron por triplicado y los resultados se presentaron con su valor promedio y desviación estándar. Las relaciones entre los parámetros medidos fueron realizadas mediante ANOVA simple y los supuestos se evaluaron mediante la prueba LSD de Fisher para un grado de significancia del 5 %. Se empleó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2011).

RESULTADOS

CALIDAD INDUSTRIAL DE GRANOS DE TRIGO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE SUS HARINAS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la caracterización industrial de granos. El peso hectolítrico (PH), el peso de mil granos (PMG), la dureza, el contenido de proteínas (PROT, base 13,5 % de humedad) y el contenido de cenizas (en base seca) del grano son variables útiles en la caracterización del grano de trigo pan como parámetros de calidad industrial. En la Tabla 1 se observan los resultados de la caracterización industrial del grano de las tres variedades puras de trigo pan.

La variedad MS 514 presentó el menor valor de PH, clasificándose como grado 2 de comercialización, mientras que tanto las variedades B. Meteoro como ACA 356 lograron superar el límite de PH y pueden considerarse de grado 1, según la Norma XX de Comercialización de Trigo pan (Tabla 1). Sin embargo, el B. Meteoro resultó tener un PH significativamente superior al resto de las variedades (80,9±0,3 Kg/hl).

Por otro lado, los valores obtenidos PMG evidencian que la variedad MS 514 tiene granos de mayor peso (30,3±0,4 g) comparados con ACA 356 (Tabla 1). La diferencia con el PH podría estar atribuida a la presencia de materias extrañas en la muestra MS 514 al momento de realizar la determinación de PH. Si bien las materias extrañas no fueron determinadas, la medición de PH se hace con la muestra tal cual como viene del campo para castigar la presencia de materias extrañas que hacen bajar el PH, mientras que el PMG se realiza sobre la muestra limpia. Por otra parte, la variedad B. Meteoro tiene similar PMG que MS 514 (Tabla 1) indicando que luego de la limpieza del grano, ambas variedades podrían tener un alto rendimiento harinero.

Los valores de dureza fueron mayores a 35 %, por lo que las tres muestras pueden considerarse variedades de tipo "extra duro" siendo la variedad más dura la MS 514 (45,00±0,00%).

La Tabla 1 muestra también los valores de proteína en los granos siendo este parámetro elevado en todas las muestras (>13%) aunque significativamente superior en la variedad ACA 356. Por último, no se observaron diferencias significativas en los valores de cenizas y humedad del grano.

Tabla 1

Caracterización del grano en variedades puras de trigo pan. Peso hectolítrico (PH) peso de mil granos (PMG), dureza, proteínas (PROT, base 13,5% Humedad) y cenizas (expresado en base seca-sss-). Diferentes letras en una misma columna indican diferencia significativa (p < 0,05).

Variedades	GRANO				
	PH (Kg/hl)	PMG (g)	Dureza (%)	Prot (%)	Cenizas (%)
ACA 356	79,8±0,1 b	28,0±0,9 a	40,33±1,15 a	14,6±0,1 b	1,81±0,02 a
B. Meteoro	80,9±0,3 c	28,9±0,3 ab	41,67±1,15 a	13,6±0,1 a	1,79±0,01 a
MS 514	75,4±0,4 a	30,3±0,4 b	45,00±0,00 b	13,6±0,1 a	1,65±0,15 a

Una vez caracterizado el grano de las diferentes variedades de trigo, se molieron y se determinó el rendimiento (REND), el contenido de cenizas en la harina y la relación molinera (REL.MOL) como parámetros de la calidad de los productos de molinería cuyos resultados se presentan en la Tabla 2. El rendimiento (REND), o sea cuanta harina se obtuvo a partir de la molienda de 100 g de grano fue estadísticamente similar entre las variedades y los valores fueron buenos (mayores a 64,0%), a pesar de haber observado diferencias en PH y PMG (Tabla 1). Respecto al contenido de cenizas, se encontró que las variedades ACA 356 y B. Meteoro presentaron más cenizas que la muestra MS 514. En el caso de la relación molinera (REL.MOL), calculado como el cociente entre el rendimiento del proceso y el contenido de ceniza del producto, sí se encontraron diferencias significativas entre las tres variedades estudiadas, lo cual evidencia diferentes comportamientos durante la molienda, siendo la variedad MS 514 la que mostró una relación molinera significativamente mayor al resto de las muestras (Tabla 2).

Tabla 2

Caracterización de la molienda de trigo pan Rendimiento molinero (REND), cenizas (expresado en base seca) y relación molinera (REL.MOL.). Diferentes letras en una misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Variedades	HARINA		
	Rend (%)	Cenizas (%)	Rel. mol.
ACA 356	66,5±1,0 a	0,552±0,003 b	120±3 a
B. Meteoro	64,6±0,4 a	0,550±0,001 b	119±7 a
MS 514	65,7±2,7 a	0,452±0,016 a	147±7 b

El color de la harina, evaluado a través del parámetro luminosidad L^* , fue alto y varió entre 90,36 unidades (ACA 356) y 90,92 (MS 514) (Tabla 3), sugiriendo un predominio del color blanco. La variable a^* de color mostró valores negativos asociados al color verde mientras que el b^* fue positivo ubicándose en los tonos amarillo en las tres harinas. A pesar de las diferencias significativas, las muestras presentaron uniformidad en cuanto a los tres parámetros obtenidos. Montoya-López et al. (2012) determinaron el índice de blancura (IB) en harina de trigo comercial a partir de los factores L^* , a^* y b^* del sistema Hunter como $IB = L^* - 3b^* + 3a^*$. Los valores de IB fueron 61,05 para ACA 356, y menores para las variedades B. Meteoro (56,75) y MS 514 (57,05). Por otro lado, se evaluó el Falling Number (FN) en las diferentes harinas que mostraron valores mayores a 400 s y no se encontraron diferencias significativas entre cultivares (Tabla 3), por lo que la actividad α -amilásica fue similar. Estos valores se consideran normales para una campaña en la cual la cosecha se realizó bajo condiciones ambientales secas.

En la Tabla 4 se muestran además los resultados obtenidos del análisis de gluten, del test de sedimentación IS-SDS y del contenido de almidón dañado. A pesar de que la variedad MS 514 presentó mayor contenido de gluten húmedo (GH), todos los valores obtenidos fueron altos (mayores a 31%), esto está en relación a los altos porcentajes de proteína de grano que fueron mostrados en la Tabla 1. El gluten seco (GS), como era de esperar, mostró una tendencia similar a la del GH pero sin mostrar diferencias significativas entre las variedades. El índice de gluten (IG), que indica la calidad del gluten, fue normal para trigo pan en las 3 variedades estudiadas (valores mayores a 90%). Por otra parte, la prueba de sedimentación IS-SDS determina las características de hidratación y expansión de las proteínas de gluten, lo cual está relacionado con la calidad de panificación. Los valores de IS-SDS obtenidos también fueron altos y estadísticamente similares en las tres variedades, esto era de esperar dado que tanto la calidad como la cantidad de gluten fueron elevadas (de la Horra et al., 2012). La variedad ACA 356 presentó el mayor porcentaje de almidón dañado (Tabla 4).

Tabla 3

Caracterización de las harinas puras de trigo pan. Parámetros evaluados: color: L* (luminosidad), a*(rojo) y b* (amarillo) y Falling Number (FN).

Variedades harina	COLOR			FN (s)
	L*	a*	b*	
ACA 356	90,36±0,11 a	-1,87±0,02 c	7,9±0,2 a	439±14 a
B. Meteoro	90,80±0,09 b	-2,56±0,09 a	8,8±0,1 b	417±20 a
MS 514	90,92±0,09 b	-2,43±0,09 b	8,9±0,3 b	432±11 a

Tabla 4

Caracterización de las harinas puras de trigo pan. Parámetros evaluados: Gluten Húmedo (GH, base 14,5% humedad), Índice de Gluten (IG), Gluten Seco (GS), test de Sedimentación (IS-SDS) y almidón dañado (ALM. DAÑADO). Diferentes letras en una misma columna indican diferencia significativa (p < 0,05).

Variedades harina	GH (%)	IG	GS (%)	IS-SDS (ml)	Alm. dañado (%)
ACA 356	31,63±0,06 a	98,7±0,6 a	11,6±0,2 a	92±3 a	7,01±0,00 b
B. Meteoro	31,13±0,35 a	98,7±0,6 a	11,4±0,2 a	94±2 a	5,06±0,00 a
MS 514	32,57±0,38 b	97,3±0,6 a	11,6±0,4 a	95±0 a	4,67±0,00 a

Con respecto a las curvas farinográficas, en la Figura 1, podemos observar que las tres variedades mostraron dos picos de consistencia con estabilidades y tiempo de desarrollo elevados, lo cual indicaría que se van a disponer mayores tiempos de amasado durante el proceso de panificación. Las caídas luego de alcanzar la consistencia ideal (medidas a través del aflojamiento) resultaron similares, aunque más pronunciada en el caso de la variedad MS 514.

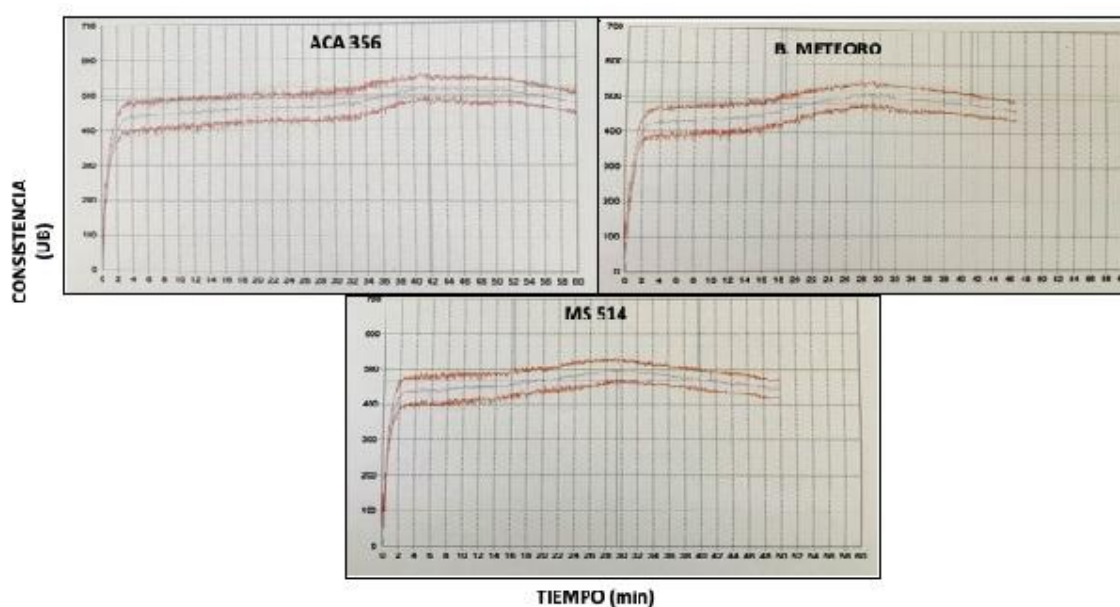


Figura 1

Curvas farinográficas de las tres variedades puras de trigo pan: ACA 356, B. Meteoro y MS 514.

Los parámetros de absorción de agua (ABS), estabilidad (EST) y aflojamiento (AFLO) no mostraron diferencias significativas entre las variedades utilizadas (Tabla 5). Además, la variedad ACA 356 fue la que tardó más tiempo en alcanzar la consistencia deseada ($40,2 \pm 2,3$ min) y presentó el mayor número de calidad farinográfico (FQN) indicando que es la harina más fuerte estudiada. La variedad ACA 356 tuvo mayor retención de agua y de almidón dañado que el resto de las variedades. Esta diferencia podría explicar el comportamiento farinográfico superior de ACA 356.

Tabla 5

Caracterización reológica de las harinas puras de trigo pan. Parámetros Farinográficos evaluados: Absorción de agua (ABS), Tiempo de desarrollo (TD), Estabilidad (EST), Aflojamiento (AFLO) y Número de calidad farinográfica (FQN). Diferentes letras en una misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Variedades	FARINOGRAMA				
	ABS (%)	TD (min)	EST (min)	AFLO (UB)	FQN (mm)
ACA 356	$59,0 \pm 0,7$ a	$40,2 \pm 2,3$ b	$25,8 \pm 0,7$ a	21 ± 1 a	$546 \pm 19,0$ b
B. Meteoro	$58,7 \pm 0,6$ a	$27,6 \pm 3,6$ a	$22,6 \pm 0,1$ a	26 ± 8 a	$405 \pm 14,5$ a
MS 514	$59,2 \pm 0,2$ a	$30,6 \pm 3,0$ a	$24,0 \pm 0,9$ a	35 ± 6 a	$412 \pm 11,2$ a

Por lo tanto, en general se observó que las harinas puras estudiadas absorbieron alrededor de un 59% de agua, fueron estables mostrando elevados valores de estabilidad (EST, >14 min) y de tiempo de desarrollo (TD), con bajos valores de aflojamiento (AFLO, <35 UB), esto indicaría que son harinas fuertes aptas para soportar el esfuerzo mecánico del amasado. Pero si observamos en detalle los resultados obtenidos, podríamos decir que la variedad ACA 356 sería la menos apropiada para formulaciones de premezclas con avena, por presentar altos TD lo que implicaría un mayor gasto energético, seguida por la variedad MS 514 por tener el más alto valor de aflojamiento. De manera que la variedad con características farinográficas más equilibradas sería B. Meteoro.

A continuación, en la Figura 2 se pueden observar las curvas alveográficas de las variedades puras de trigo pan. Lo más destacado es la fuerza panadera (parámetro W) que corresponde al área debajo de las curvas y es notablemente más elevado en B. Meteoro, lo cual indicaría un comportamiento sobresaliente de esta variedad. Otro punto importante para observar es la relación entre el alto (tenacidad, P) y el largo (extensibilidad, L) (P/L) de la curva que resulta similar y elevado en todas las variedades y estaría mostrando que las masas obtenidas fueron tenaces.

La Tabla 6 muestra los resultados de los parámetros alveográficos obtenidos. Puede observarse que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de tenacidad (P), extensibilidad (L) ni en el índice de hinchamiento (G) éste último valor está asociado a la extensibilidad. La fuerza panadera (W) resultó significativamente superior en las variedades MS 514 y principalmente para B. Meteoro que fue significativamente mayor que ACA 356 indicando que la harina B. Meteoro presentaría una aptitud superior para soportar los procesos de fermentación y horneado durante la panificación. No se encontraron diferencias significativas en la relación (P/L) en las diferentes harinas estudiadas.

Por último, el índice de elasticidad (Ie) presentó diferencias significativas entre las variedades (Tabla 6), siendo la variedad MS 514 la menor, asociado a una caída de la curva alveográfica más pronunciada. El valor de Ie presenta una relación lineal bien correlacionada con la tenacidad, hasta valores de $P=80$; y con la fuerza panadera hasta valores de $W=200$. Luego se alcanza un plateau, del tipo de las curvas de saturación (Monleón & Gordun, 1998). En este caso, el valor del Ie evidenciado por la variedad MS 514 estaría marcando un comportamiento alveográfico inferior, aunque significativamente similar a B. Meteoro. A continuación (Tabla 7) se muestra el contenido de pentosanos solubles, insolubles y totales en las distintas variedades de trigo pan analizadas. No se evidenciaron diferencias significativas entre las variedades estudiadas en ninguno de los tres tipos de pentosanos presentando las harinas alrededor de un 3,5 % de pentosanos totales de los cuales alrededor del 70 % son insolubles.

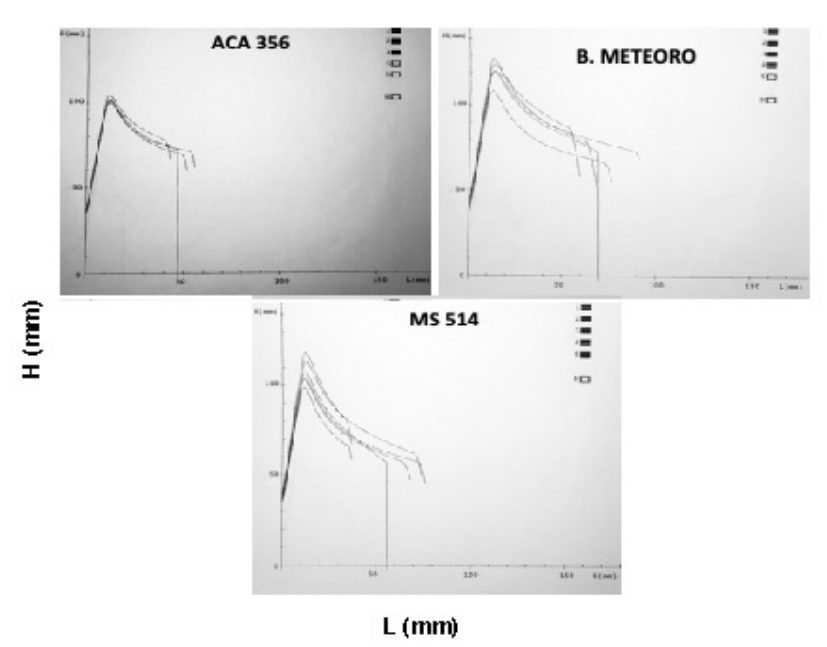


Figura 2

Curvas alveográficas de las tres variedades puras de trigo pan: ACA 356, B. Meteoro y MS 514.

Tabla 6

Caracterización reológica de las harinas puras de trigo pan. Parámetros alveográficos evaluados: Tenacidad (P), Extensibilidad (L), Índice de hinchamiento (G), Fuerza Panadera (W); Relación tenacidad y extensibilidad (P/L) e Índice de Elasticidad (Ie). Diferentes letras en una misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Variedades	ALVEOGRAMA					
	P (mmH ₂ O)	L (mm)	G (mm)	W (Jx10 ⁻⁴)	P/L	Ie (%)
ACA 356	114±17 a	48±9 a	15±1 a	250±10 a	2,5±0,8 a	74,2±1,1 b
B. Meteoro	125±1 a	52±12 a	16±2 a	364±41 b	2,2±0,4 a	72,8±0,7 ab
MS 514	133±9 a	61±5 a	17±1 a	282±5 ab	2,4±0,4 a	66,0±2,5 a

Tabla 7

Caracterización de las harinas puras de trigo pan. Contenido de pentosanos solubles, pentosanos insolubles y pentosanos totales. Diferentes letras en una misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Variedades	PENTOSANOS (%)		
	Solubles	Insolubles	Totales
ACA 356	0,88±0,13 a	2,64±0,17 a	3,52±0,16 a
B. Meteoro	1,01±0,04 a	2,60±0,27 a	3,61±0,26 a
MS 514	1,04±0,03 a	2,35±0,05 a	3,39±0,04 a

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de retención de solventes. En la misma puede observarse que los porcentajes de retención de sacarosa y de carbonato de sodio no mostraron diferencias significativas entre las harinas de las variedades analizadas. El agua alcalina está asociada positivamente a la capacidad de la harina de absorber agua (Kweon et al.,

2009). En este caso, en la retención de agua alcalina y de ácido láctico se encontraron diferencias significativas entre las variedades, siendo el cultivar ACA 356 el que mostró valores menores al resto, lo cual podría evidenciar una calidad panadera inferior. Por su parte, la variedad MS 514 tuvo una capacidad de retención de agua significativamente menor que el resto, lo cual indicaría una inferior capacidad de hidratación en ausencia de trabajo mecánico. Tanto lo hallado en la variedad ACA 356 como en la variedad MS 514, que estaría marcando una menor capacidad de hidratación de las harinas, no se corresponde con lo observado en la absorción farinográfica, en la cual no se encontraron diferencias significativas entre las variedades (Tabla 5).

Tabla 8

Caracterización de las harinas puras de trigo pan. Retención de solventes: sacarosa (SAC), carbonato de sodio (CS), agua alcalina (AA), ácido láctico (AL) y agua. Diferentes letras en una misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Variedades	RETENCION SOLVENTES				
	SAC (%)	CS (%)	AL (%)	AA (%)	Agua (%)
ACA 356	84,6±0,4 a	82,8±4,9 a	130±6 a	61,8±0,5 a	62,5±1,2 b
B. Meteoro	87,2±1,4 a	82,7±2,7 a	139±6 ab	66,7±0,1 b	63,2±1,1 b
MS 514	86,8±1,7 a	75,7±0,3 a	146±6 b	68,6±0,5 b	57,9±1,3 a

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL GRANO DE AVENA

En la Tabla 9 se muestra la concentración de ácido oleico liberado (AOL) luego del tratamiento térmico aplicado, el % de actividad enzimática y la temperatura final alcanzada por los granos de avena una vez terminado el tratamiento.

Los granos de avena sin tratar térmicamente (control) presentaron mayor cantidad de AOL, por lo que se considera que la lipasa está completamente activa. Al aumentar el tiempo de tratamiento por microondas la concentración de AOL fue menor acompañado con un descenso de la actividad enzimática (Tabla 9, Figura 3). La Figura 3 muestra una correlación con un r de 0,9996 entre la actividad lipasa y el tiempo de tratamiento del grano en microondas. Además, la temperatura de los granos aumentó significativamente con el tratamiento. Como puede observarse, el tratamiento de 60 s fue el que resultó más efectivo y mostró una reducción en la actividad de la lipasa significativamente menor al resto de los tratamientos evaluados (5,1% de actividad); este resultado positivo en la inhibición parcial de la actividad enzimática coincide con una temperatura intergranaria de 95°C al final del tratamiento. Similares resultados fueron reportados por Keying et al. (2009).

Tabla 9

Tratamiento térmico del grano de avena. Tiempo de exposición al microondas (Tiempo); Concentración de Ácido Oleico Liberado (AOL), Actividad lipasa y Temperatura intergranaria al final del tratamiento. Diferentes letras en una misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Tiempo (s)	Concentración AOL ($\mu\text{mol}/5 \text{ ml Isooctano}$)	Actividad lipasa (%)	Temperatura final ($^{\circ} \text{C}$)
Control	113,7 ± 6,0 d	100,0	23,5
30	76,8 ± 7,6 c	67,5	80,6
45	47,6 ± 8,1 b	41,9	85,2
60	5,7 ± 2,3 a	5,1	95,0

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS HARINAS DE TRIGO Y AVENA

En la Tabla 10 se observa la composición porcentual de las harinas de avena puras, todos los valores están expresados sobre sustancia seca (sss).

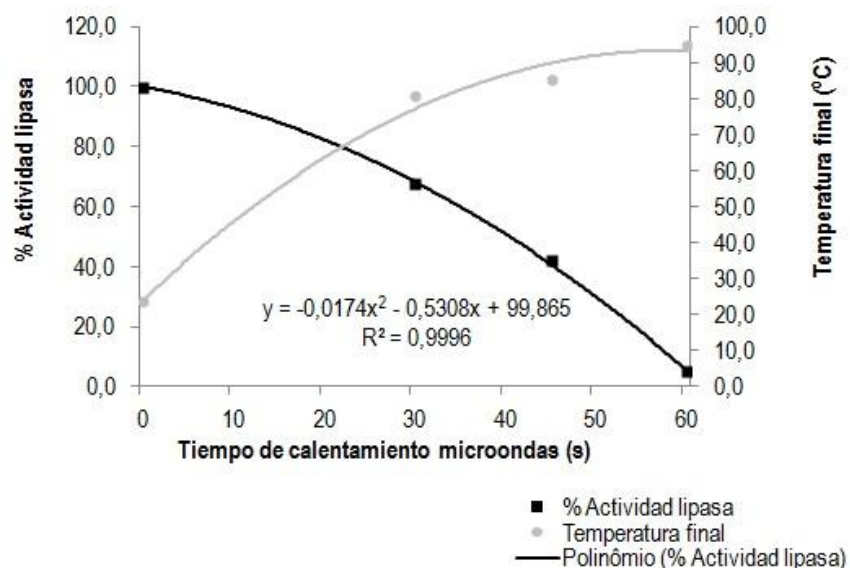


Figura 3

Porcentaje de actividad lipasa y temperatura intergranaria al final del tratamiento térmico en función del tiempo de calentamiento en microondas.

Las harinas presentaron un contenido de humedad entre 10,4% en la variedad Paloma INTA y 11,4% para INTA Maja. El contenido de proteína de todas las variedades analizadas resultó elevado (valores mayores a 14% sss), lo que convierte a estas harinas en materias primas adecuadas para complementar la harina de trigo, aportando mayor cantidad de proteína de alta calidad (Peterson, 2001). Los b-glucanos en las variedades analizadas mostraron valores de entre 5,2±0,1% y 3,5±0,1%. El contenido de cenizas resultó dentro de los parámetros definidos por el CAA para una harina de avena (cenizas < 2,2%) (CAA, 2022), y el contenido de lípidos estuvo entre 3,0±0,2 y 5,6±0,5.

Tabla 10

Caracterización nutricional de las variedades puras de avena, parámetros presentados sobre sustancia seca (sss). Contenido de Proteína (PROT, % sss); β-glucanos (% sss); Lípidos (% sss) y Cenizas (% sss), Fibra Dietaria Total (FDT, %) e Hidratos de Carbono (H de C, %). Diferentes letras en una misma columna indican diferencia significativa (p < 0,05).

Variedades	HUM (%)	PROT (%)	LIPIDOS (%)	CENZAS (%)	H de C Total	
					β-GLUCANOS (%)	OTROS
INTA Yapa	11,3±0,1 c	18,6±0,4 def	5,4±0,3 c	1,9±0,1 a	3,5±0,1 a	62,8
INTA Sureña	10,8±0,2 b	19,3±0,7 fg	4,6±0,2	2,1±0,2 a	5,2±0,1 b	63,2
Payé INTA	10,9±0,1 b	16,4±0,1 a	5,6±0,5 c	2,0±0,1 a	4,1±0,5 ab	65,1
Paloma INTA	10,4±0,1 a	17,9±0,2 bcde	4,7±0,3 ab	2,0±0,1 a	3,8±0,1 a	65,0
INTA Maja	11,4±0,1 c	16,8±0,1 ab	4,3±0,5 a	1,9±0,1 a	5,3±0,5 b	65,6
Elizabeth INTA	11,2±0,1 c	19,2±0,1 efg	4,7±0,5 ab	2,2±0,1 a	3,8±0,4 a	62,7
INTA Maná	11,3±0,1 c	17,7±0,3 bcd	4,4±0,4 ab	2,1±0,1 a	3,9±0,1 a	64,5
INTA Aikén	11,2±0,3 c	18,3±0,1 cdef	3,0±0,2 a	2,1±0,1 a	4,7±0,2 ab	65,4
INTA Calén	11,4±0,1 c	18,3±0,1 defg	3,8±0,3 a	2,0±0,1 a	4,5±0,2 ab	64,5

Los valores de composición de las tres harinas de trigo pan están dentro de lo esperado (Tabla 11). Los resultados del contenido de cenizas fueron cercanos a los de una harina tipificada según el CAA como harina 0000, siendo mayores en las variedades ACA 356 y B. Meteoro. Los contenidos de proteínas de las harinas resultaron elevados (mayores a 14,00%). La variedad B. Meteoro presentó el mayor contenido de lípidos, y no se encontraron diferencias significativas en los valores de Fibra Dietaria Total ni en los pentosanos presentando las harinas alrededor de un 3,5% de pentosanos totales de los cuales alrededor del 70% son insolubles.

Tabla 11

Composición porcentual de las variedades puras de trigo pan, valores expresados sobre sustancia seca. Ceniza; Proteínas (PROT); Lípidos; Fibra Dietaria Total (FDT) e Hidratos de Carbono (H de C). Datos expresados en base seca. Diferentes letras en una misma columna indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Variedades	Hum (%)	Cenizas (%)	Prot (%)	Lípidos (%)	FDT (%)	H de C (%)
ACA 356	13,5±0,1b	0,55±0,0b	14,94±0,1b	1,16±0,1b	3,0±0,2a	80,25±0,4a
B. Meteoro	13,7±0,1c	0,55±0,0b	14,03±0,0a	1,29±0,0c	2,8±0,1a	81,23±0,1a
MS 514	12,9±0,0a	0,45±0,1a	15,12±0,1b	0,95±0,1a	3,4±0,1a	79,98±0,1a

VIDA ÚTIL DE LAS HARINAS DE TRIGO Y AVENA

El análisis de vida útil se llevó a cabo sobre las harinas puras. Las harinas seleccionadas en función de la calidad fueron la B. Meteoro para trigo e INTA Calen para avena. En la Figura 4, se muestran los valores de porcentaje de acidez para las harinas puras, en función del tiempo de almacenamiento.

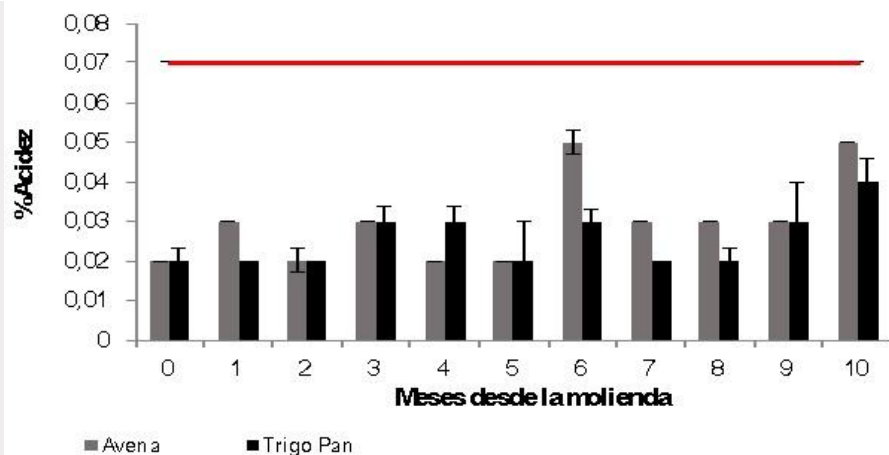


Figura 4

Porcentaje de acidez de las harinas puras de avena y trigo pan en el tiempo, tomando como tiempo 0 el día de molienda. La línea horizontal indica el valor límite descrito por el Código Alimentario (2022).

Según el límite establecido por el Código Alimentario Argentino (2022), los valores de acidez de las harinas puras, resultaron normales (menores a 0,07%). En las harinas puras, al décimo mes de almacenamiento se evidencia un leve aumento de acidez, pero sin llegar a exceder el límite mencionado anteriormente. A su vez, la harina pura de trigo pan mostró valores de acidez inferiores a

los de la harina de avena en casi todos los meses de medición. En la Figura 5 se muestran los valores de pH para las harinas puras.

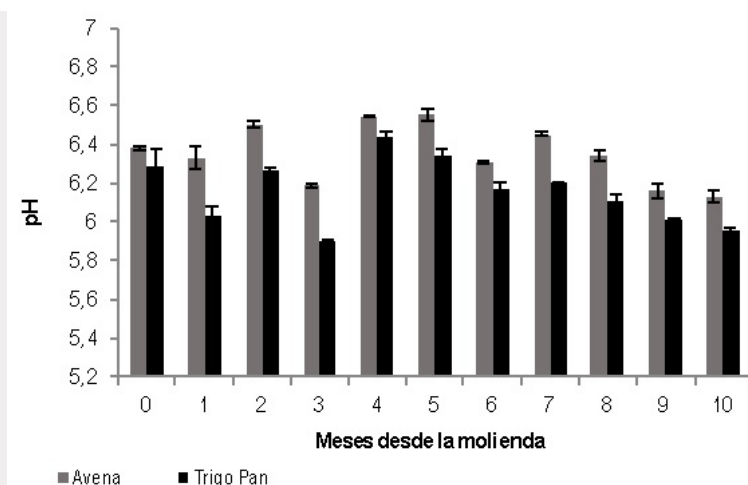


Figura 5

Valores de pH de las harinas puras de avena y trigo pan en el tiempo, tomando como tiempo 0 el día de molienda.

En el caso del pH, si bien el Código Alimentario no especifica límite, todos los momentos de muestreos presentaron valores entre 5,9-6,9 y podrían considerarse como alimentos de baja acidez (Chagman & Huamán, 2010). El trigo pan presentó valores de pH menores que la harina de avena. Esta última tendría componentes que tienden a mantener el pH en casi todo el período de almacenamiento en valores superiores a 6,2.

Por último, la humedad durante el almacenamiento se muestra en la Figura 6. Cuando evaluamos el contenido de humedad de las muestras, observamos que siempre estuvieron en valores de humedad debajo del 15,5% (límite descrito por el Código Alimentario Argentino, 2022) con lo cual la humedad tampoco estaría marcando deterioro durante los meses de almacenamiento. Tanto en las harinas puras como en las mezclas, los resultados de los parámetros evaluados muestran que, desde el punto de vista de la vida útil, es seguro el almacenamiento por 10 meses a temperatura ambiente.

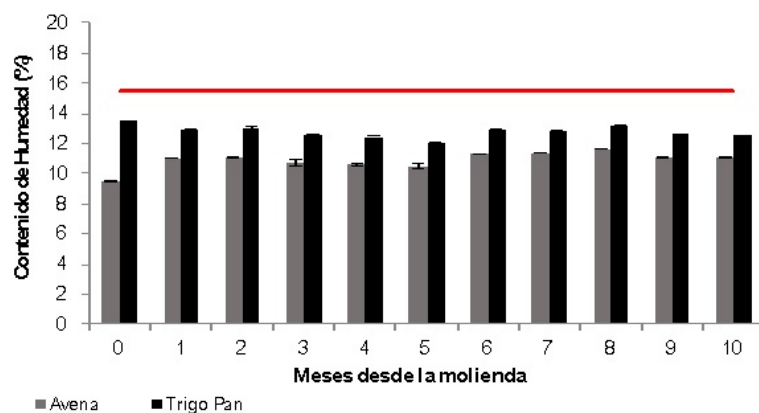


Figura 6

Contenido de humedad de las harinas puras de avena y trigo pan en función del tiempo, tomando como tiempo 0 el día de molienda. La línea horizontal indica el valor límite descrito por el Argentino (2022).

DISCUSIÓN

CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS GRANOS Y HARINAS DE TRIGO

El peso hectolítrico (PH) es uno de los parámetros que determina el grado de Comercialización de Trigo pan teniendo en cuenta la Norma XX "Norma de Calidad para la Comercialización de Trigo Pan y depende fuertemente de la calidad de la cosecha debido a que los granos se analizan tal cual como llegan del campo (Seghezzo & Molfese, 2006). La variedad B. Meteoro resultó tener un PH significativamente superior al resto de las variedades, lo cual permitiría inferir que el rendimiento harinero de esta última variedad debería ser el mayor. En muestras de trigo pan limpias, independientemente de su variedad, se ha encontrado una relación positiva y elevada entre PH y/o PMG con el rendimiento harinero (Biolatto, 2014). Por su parte, la dureza del grano es un parámetro que no puede usarse para predecir el rendimiento total de harina, la fuerza o las propiedades reológicas de las masas, pero sí tiene influencia sobre el rendimiento de cada una de las fracciones molineras.

Tanto el aspecto vítreo como la textura dura del grano están fuertemente asociados con el contenido de proteína y en general se correlacionan con altos rendimientos de harina, a excepción de los granos chuzos. El contenido de proteína del grano es fundamental tanto desde el punto de vista nutricional como por sus efectos sobre la calidad industrial. El grano presenta una gran variabilidad de este parámetro determinada por el genotipo, el ambiente y la interacción entre ambos (Seghezzo & Molfese, 2006). Valores mayores de dureza se asocian a la resistencia de los granos de trigo más duros a la molienda, por lo que se espera que las partículas molidas tengan un mayor tamaño, a diferencia de los granos suaves cuyo tamaño será menor pues presentan menor resistencia a la molienda.

Los resultados obtenidos indicarían que, para las determinaciones realizadas de calidad industrial de granos, las tres variedades se comportan de manera buena a excelente para ser usadas en la industria panadera. De todas maneras, esperaríamos que la variedad B. Meteoro logre los mayores valores de rendimiento harinero, lo cual sería altamente positivo. Además, esta variedad sería la que mejor resistiría una dilución del gluten con harina de avena para la premezcla para panificación. La molienda de los granos de las tres variedades de trigo pan se realizó en el mismo molino, con lo cual, un mayor contenido de almidón dañado en el ACA 356 podría estar asociado a la menor dureza de grano que mostró esta variedad. Ponzio (2010) observó una tendencia inversa entre las variedades de trigo Buck Pronto y Klein Escudo, ésta última presentó valores de almidón dañado y de dureza más elevados. Durante la molienda los gránulos de almidón sufren daños físicos, éstos absorben una mayor cantidad de agua, en algunos casos hasta un 100% de su peso, en comparación con aquellos que permanecen intactos al momento de realizar una masa. Además, los gránulos de almidón dañado son más susceptibles al ataque de las enzimas α -amilasas presentes en el trigo que se activan durante la fermentación y horneado en la panificación (de la Horra et al., 2012).

En cuanto al análisis reológico de las harinas cabe destacar que el análisis farinográfico es importante al momento de la selección de la harina en la elaboración de panificados, ya que masas que tardan mucho en desarrollarse (como en la variedad ACA 356), provocan mayor gasto energético sumado a que durante el amasado aumenta la temperatura teniendo consecuencias negativas en la estructura de la masa y en la actividad de las levaduras durante el proceso de panificación (Ali et al., 2012). En el caso del análisis alveográfico, se observó que todas las variedades mostraron harinas tenaces ($P/L > 2,0$) con un valor de trabajo de deformación (W) mayor a 250, por lo cual se las consideran harinas fuertes, aptas para la elaboración de productos de horno fermentados tipo panificados y soportan otras fuentes vegetales si se desean emplear para mejorar el perfil nutricional del pan blanco. En este sentido el análisis de gluten húmedo dio valores de IG mayores a 90%, lo cual indicaría también la presencia de un gluten fuerte, diversos autores consideraron que valores de $IG > 70\%$ son valores óptimos para el trigo e indican que la calidad del gluten es fuerte (Cubadda et al., 1991; Borkowska et al., 1999). De las tres variedades evaluadas, B. Meteoro resultó superior por dos parámetros: el valor de fuerza panadera que fue elevado, combinado con un valor de relación P/L, que, si bien fue alto, resultó más equilibrado que en el resto de las variedades estudiadas.

Por último, conocer el contenido de pentosanos y evaluar la retención de diferentes tipos de solventes nos permitirá complementar el estudio previo y dilucidar acerca de la calidad y funcionalidad de las diferentes harinas. Los pentosanos son parte de la fibra dietaria y resultan de interés porque están asociados a mejoras en las propiedades reológicas de las masas de harina de trigo y en la performance durante el proceso de panificación por la gran capacidad de absorción de agua (Turnbull & Rahman, 2002; Dupont & Altenbach, 2003; Paesani et al., 2020). Sumado a esto, Garnero et al., 2016 analizaron el contenido de pentosanos en distintas variedades puras de trigo pan, encontrando que los pentosanos insolubles y, por lo tanto, los totales, dependen fuertemente de

la fecha de espigazón de la variedad; estableciendo que aquellas con fechas tardías resultan más promisorias en contenido de pentosanos totales. En nuestro caso, las tres variedades elegidas corresponden a ciclos de crecimiento intermedio-largo, de manera tal que podríamos inferir que el no haber encontrado diferencias en el contenido de pentosanos podría explicarse porque los cultivares poseen fechas de espigazón similares. Por último, estos autores también señalaron que los pentosanos están asociados directamente a la fibra dietaria y a la absorción de agua de las harinas influyendo en la selección de estas variedades cuando se destacan propiedades nutricionales y tecnológicas, respectivamente.

El porcentaje de retención de cada solvente se relaciona con los componentes de la harina; de esta manera pueden compararse con patrones de comportamiento que permiten clasificar a una determinada harina por su aptitud para desarrollar ciertos productos de panificación y definir su perfil de calidad. El porcentaje de retención de sacarosa y de carbonato de sodio, se asocian directamente con el contenido de pentosanos y gliadinas y con los niveles de almidón dañado, respectivamente. La retención de ácido láctico y de agua están relacionados con la fracción del gluten correspondiente a las gluteninas y los componentes hidrofílicos (almidón dañado, proteínas totales, gluten y pentosanos solubles) presentes en la harina (de la Horra et al., 2012).

Por todo lo estudiado, desde la calidad industrial de grano hasta las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las harinas puras, podemos dilucidar que la variedad pura de trigo pan B. Meteoro es la que consideramos que resultaría más adecuada para la elaboración de premezclas con avena. Respecto a este último cereal, el grano maduro posee enzimas lipasas que se activan luego de la molienda del grano, acelerando el deterioro de los lípidos en las harinas, lo cual produce enranciamiento, por lo que es importante optimizar las condiciones de inactivación de estas enzimas previo a la molienda.

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL GRANO DE AVENA

La elevada actividad lipasa en el grano maduro de avena indica que la hidrólisis de lípidos es el proceso principal que desencadena el deterioro de los lípidos y explica en parte, la disminución en las propiedades sensoriales de las avenas procesadas durante su almacenamiento Lehtinen et al., (2003) y Keying et al. (2009) estudiaron la inhibición de la actividad lipasa utilizando microondas a máxima potencia y encontraron, luego de probar distintos tiempos de exposición, que al llegar a una temperatura intergranaria de 95°C, la inactivación estaba asegurada. Ese valor de temperatura es el que se alcanza comúnmente en la industria, en donde no se emplea microondas sino que el tratamiento térmico de inactivación de la enzima lipasa se realiza con vapor (Gutiérrez, com. pers., 2018).

Si bien no fue medido en este trabajo, la bibliografía consultada señala que el tratamiento térmico de la avena tiene una ventaja adicional, que es la de favorecer la reacción de Maillard, esta es una reacción que se produce entre los grupos aminos como los que están presentes en las proteínas y los carbonilos de los carbohidratos, generando sabores deseables, pardeamiento de los granos y la formación de compuestos antioxidantes que contribuyen a incrementar la estabilidad de los lípidos (Decker et al., 2014). Otra ventaja es la inactivación de bacterias, hongos y levaduras que puedan estar presentes en las muestras, haciendo así, más seguro el alimento (Fellows, 2009). Lehtinen et al., 2003 concluyeron que los tratamientos térmicos realizados con vapor y logrando temperaturas entre 90 y 130°C en granos de avena, redujeron la formación de ácidos grasos libres en las fracciones procesadas, pero provocaron que, en la fracción de lípidos polares, los ácidos grasos acilados resultaran más susceptible a la oxidación.

Schlormann et al. (2020), realizaron tratamientos térmicos a temperaturas elevadas (140-180°C) sobre grano y hojuelas de avena y evaluaron el impacto que tenían sobre las propiedades nutritivas y sensoriales. Dentro de los atributos sensoriales observaron que aquellos que definen aroma, textura, olor y apariencia se vieron mejorados con los tratamientos de temperatura, posiblemente haya sido la reacción de Maillard la responsable de estas mejoras sensoriales. Dentro de las propiedades nutricionales, destacaron que no hubo impacto sobre el contenido de proteínas, de lípidos ni de almidón. Similar tendencia fue observada por otros autores (Hu et al., 2014; Beloshapka et al., 2016). Schlormann et al. (2020), observaron una pérdida de fibra dietaria insoluble y total, como consecuencia de los tratamientos térmicos. El contenido de β -glucanos no resultó modificado, esto también fue citado en una revisión realizada por Wang & Ellis, 2014; donde señalaron que los cambios en el contenido de β -glucanos están dados por el genotipo y/o por las condiciones de crecimiento del cultivo, pero no por los tratamientos térmicos a los que sea sometido el grano. Por lo expuesto anteriormente, la inactivación de la enzima lipasa en la avena aumenta su vida útil. Sin embargo, puede traer alguna modificación en sus características nutricionales, por esta razón, resulta de suma importancia realizar una evaluación de la composición nutricional de las harinas.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS HARINAS DE TRIGO Y AVENA

El contenido de proteína de todas las variedades analizadas resultó elevado y superior al citado en bibliografía (Kent, 1987; Sterna et al., 2016). Lo mismo ocurrió para los β -glucanos, que mostraron valores superiores a los citados por Sterna et al. (2016) para pepitas de avena. Estos autores mencionan una variación entre 2,96 y 3,34%; esto resulta sumamente positivo dada la importancia para la salud que tienen estos componentes. El contenido de cenizas resultó dentro de los parámetros definidos por el CAA para una harina de avena (cenizas < 2,2%) (CAA, 2022).

De acuerdo a la calidad nutricional de las harinas, podemos destacar que entre los trigos los parámetros nutricionales están en valores buenos, presentando B. Meteoro mayor contenido de cenizas y lípidos. Además, esta variedad mostró ser superior en varios de los parámetros que definen la aptitud panadera de un trigo, por lo tanto, esa resultó la variedad elegida de trigo pan para elaborar una premezcla junto con harina de avena.

En cuanto a las variedades de avena, elegimos INTA Calén, primero porque es la variedad más difundida y utilizada por la industria alimenticia argentina (Wehrhahne & Gutiérrez, com. pers., 2018) y además es una variedad que presentó, uno de los valores de β -glucanos más elevados y valores relativamente altos de proteínas e intermedio de lípidos, parámetros que definen también la calidad nutricional. La vida útil de las harinas de trigo (B. Meteoro) y de avena (INTA Calén) es mayor a 10 meses.

CONCLUSIÓN

Luego del análisis de calidad de grano de las variedades puras de trigo pan, podemos afirmar que los tres materiales tuvieron buena performance, con resultados excelentes en lo que hace a peso (PMG y PH) y proteína de grano, parámetros de importancia por su elevada correlación con la calidad molinera e industrial. Con respecto a las propiedades de hidratación, medidas a través de la retención de distintos tipos de solventes, podemos decir que la que mostró resultados más estables y superiores fue B. Meteoro. Dentro de las pruebas reológicas, el análisis alveográfico de las variedades mostró que, nuevamente la variedad B. Meteoro, tuvo mejor comportamiento determinado por una mayor fuerza alveográfica y un menor valor de P/L que estaría señalando la presencia de una masa más equilibrada. La caracterización nutricional de estas harinas fue muy similar, sin diferencias relevantes para mencionar.

La evaluación de los tratamientos térmicos en avena, con el objetivo de reducir al mínimo la actividad lipasa y así preservar las características de los productos de molienda, que luego serán utilizados en la elaboración de panificados, mostró resultados satisfactorios con 60 segundos de exposición a microondas logrando en este caso temperaturas intergranarias similares a las obtenidas en la industria y una actividad enzimática significativamente inferior y aceptable. De esta manera, se logró ajustar un protocolo de trabajo, no sólo para el tratamiento térmico sino también para la determinación de actividad de la lipasa de las muestras.

En cuanto a la calidad nutricional de las variedades de avena argentinas, se pudo observar que los valores de contenido de proteína resultaron elevados y mayores a los citados en la bibliografía. Los valores de contenido de ceniza, fibra y lípidos fueron similares a los observados en la bibliografía. Los β -glucanos mostraron, en todas las variedades, valores superiores a los descritos en la bibliografía consultada. Este componente es uno de los de mayor importancia en la avena y con el cual este cultivo realizaría un aporte diferencial a los productos de panificación porque constituye un prebiótico importante que contribuye significativamente a la salud intestinal.

Respecto al análisis de vida útil de harinas puras podemos concluir que, durante 10 meses de almacenamiento, no hubo evidencias de pérdida de vida útil según los indicadores utilizados y los límites definidos por el Código Alimentario.

BIBLIOGRAFÍA

- AACC** (2000). Métodos: 08-01, 30-25.01, 30-10-01, 32-05, 32-23, 02-31, 02-52, 55-30, 56-10, 56-11 56-70.01 Determinación del contenido de cenizas.
- Ali A.; A. Shehzad; M.R. Khan, M.A. Shabbir & M.R. Amjid** (2012). Yeast, its types and role in fermentation during bread making process-A. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22(3): 171-179.
- Alimentos Argentinos**. Harina de trigo informe ejecutivo. Subsecretaría de Alimentos y Bebidas Secretaría de Alimentos y Bioeconomía. Ministerio de Agroindustria de la Nación.

Argentina. http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Cadenas%20de%20Valor%20de%20Alimentos%20y%20Bebidas/informes/Resumen_Cadena_2019_HARINA_DE_TRIGO_MARZO_2019.pdf

- Andersson A. & D. Börjesdotter** (2011). Effects of environment and variety on content and molecular weight of b-glucan in oats. *J. Cereal Sci.* 54 (1), 122–128.
- AOAC** (2000). Método: 920-152 Determinación del contenido de proteína.
- Beloshapka A.N.; P.R. Buff; G.C. Fahey & K.S. Swanson** (2016). Compositional analysis of whole grains, processed grains, grain co-products, and other carbohydrate sources with applicability to pet animal nutrition. *Foods*, 5 (2).
- Biolatto M.J.** (2014). Calidad comercial e industrial del trigo en La Pampa: un abordaje actual desde los molinos harineros instalados en la provincia. Licenciatura en administración de negocios agropecuarios Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Pampa. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/1421>
- Boczkowska M. & A. Onysk** (2016). Unused genetic resources: a case study of Polish common oat germplasm. *Annals of Applied Biology*. 169(1): 155-165.
- Borkowska H., S. Grundas & B. Styk** (1999). Influence of nitrogen fertilization of winter wheat on its gluten quality. *International agrophysics*. 13(3): 333-335.
- Boyaci I.H., P. Williams & H. Köksel** (2004). A rapid method for the estimation of damaged starch in wheat flours. *Journal of Cereal Science*. 39: 139-145.
- Buerstmayr H., N. Krenn, U. Stephan, H. Grausgruber & E. Zechner** (2007). Agronomic performance and quality of oat (*Avena sativa* L.) genotypes of worldwide origin produced under Central European growing conditions. *Field Crops Research*. 101: 343–351.
- Chagman P.G. & J.Z. Huamán** (2010). Sustitución parcial de harina de trigo *Triticum aestivum* L. por harina de kiwicha *Amaranthus caudatus* L., usando el método directo y esponja y masa, en la elaboración de pan. *Revista Sociedad Química de Perú*. 76(4): 377-388.
- Código Alimentario Argentino (CAA)** (2022). <https://www.argentina.gob.ar>
- Comité de Cereales de Invierno de la Comisión Nacional de Semillas** (2021). Calidad industrial de variedades de trigo pan. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://www.argentina.gob.ar/inase/red-de-ensayos-comparativos-de-variedades-de-trigo/grupo-de-calidad-de-trigo-pan>
- Cubadda R., M. Carcea, L.A. Pasqui & H. Perten** (1991). Método rápido di valutazione della qualità del glutine delle semole e del grano duro. *Chimicadei Cereali Tecnicamolitatoria*. 861-874.
- Decker E.A., J.R. Devin & S. Decker** (2014). Processing of oats and the impact of processing operations on nutrition and health benefits. *British Journal of Nutrition*. 112: S58-S64.
- de la Horra A.E.; M.L. Seghezzo; E. Molfese; P.D. Ribotta & A.E. Leon** (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia*. 29(2): 81-89.
- Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada & C.W. Robledo** (2011). InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Dupont F.M. & S.B. Altenbach** (2003). Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science*. 38: 133-146.
- Fellows, P. J.** (2009). Food processing technology: principles and practice. Elsevier.
- Garnero S., P. Sposetti, J. Garnero, F. Luengo & E. Yafar** (2016). Pentosanos totales y solubles en la fracción de harina de variedades de trigos argentinos. Libro CYTAL-2016. pp:325-330.
- Gómez Pallarés M., A.E. León & M.C. Rosell** (2007). Trigo. En: De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Editado por León A y Rosell C. Argentina. pp.36.
- Hashimoto S., M. Shogren & Y. Pomeranz** (1987). Cereal pentosans: estimation and significance. I. Pentosans in wheat and milled wheat products. *Cereal Chemistry*. 64: 30-34.
- Hoffmann L.A.** (1995). World production and use of oats. In: Welch, R.W.(Ed.), *The Oat Crop—Production and Utilization*. Chapman and Hall, London, pp. 34–61.
- IRAM 15855** (2000). Determinación farinográfica en harinas.
- IRAM 15862** (2003). Evaluación del Índice de caída.
- IRAM 15.854-I y 15.854-II** (2008). Acondicionamiento y molienda de trigo pan.
- IRAM 15850-1** (2009). Determinación del contenido de humedad.
- IRAM 15857** (2012). Determinación alveográfica en harinas.
- IRAM 15864- II** (2013). Determinación de gluten húmedo, seco e índice de gluten.

- Hu X.Z., J.M. Zheng, X.P. Li, C. Xu & Q. Zhao** (2014). Chemical composition and sensory characteristics of oat flakes: A comparative study of naked oat flakes from China and hulled oat flakes from western countries. *Journal of Cereal Science*. 60 (2): 297–301.
- Kent N** (1987). Tecnología de los cereales. Ed. Acribia S.A. Madrid. España.
- Keying Q., R. Changzhong & L. Zaigui** (2009). An investigation on pretreatments for inactivation of lipase in naked oat kernels using microwave heating. *Journal of Food Engineering*. 95: 280–284.
- Kweon, M., L. Slade, H. Levine, R. Martin, L. Andrews & E. Souza** (2009). Effects of extent of chlorination, extraction rate and particle size reduction on flour and gluten functionality explored by solvent retention capacity (SRC) and mixograph. *Cereal Chemistry* 86(2): 221-224.
- Lehtinen P., K. Kiliainen, I. Lehtomäki & S. Laakso** (2003). Effect of Heat Treatment on Lipid Stability in Processed Oats. *Journal of Cereal Science*. 37: 215-221.
- Marshall A., S. Cowan, S. Edwards, I. Griffiths, C. Howarth & T. Langdon** (2013). Crops that feed the world 9. Oats – a cereal crop for human and livestock feed with industrial applications. *Food Secur.* 5 (1): 13–33.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca** (2020). <https://www.argentina.gob.ar/agricultura>
- Monleon T. & E. Gordún** (1998). Estudio del índice de elasticidad y mínimo de 1º derivada alveográfica. Departamento de Industrias Alimentarias. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona.
- Montoya-López J.; G.A. Giraldo & J. Lucas-Aguirre** (2012). Determinación del índice de blancura en harinas de trigo comercial. *Vitae*, 19 (1): S415-S416. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Paesani C.** (2020). Contenido y estructura de arabinoxilanos de harinas integrales de diferentes genotipos de trigo. Evaluación de su capacidad prebiótica. <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/13265/13002%20R-T.pdf?sequence=1&isAllowed=n>
- Peterson D.M.** (1998). Malting Oats: Effects on Chemical Composition of Hull-less and Hulled Genotypes. *Cereal Chemistry*. 75 (2): 230–234.
- Peterson D.** (2001). Oat antioxidants. *Journal of Cereal Science*. 33 (2): 115–129.
- Ponzio N.R.** (2010). Calidad panadera de variedades de trigo puros y sus mezclas. Influencia del agregado de aditivos. Tesis de Magister Scientiae. Universidad Nacional de la Plata- Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/19948/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Ryan D., M. Kendall, K. Robards** (2007). Bioactivity of oats as it relates to cardiovascular disease. *Nutrition research reviews* 20 (2): 147–162.
- Schlörmann W., S. Zetzmann, B. Wiege, N.U. Haase, A. Greiling, S. Lorkowski S, C. Dawczynski & M. Gleib** (2020). Impact of different roasting conditions on sensory properties and health-related compounds of oat products. *Food Chemistry* 307. 125-548.
- Seghezzo M.L. & E. Molfese** (2006). Calidad de trigo pan. Boletín técnico N° 41. ISSN 0327-8735.
- Sterna V.; S. Zute & L. Brunava** (2016). Oat grain composition and its nutrition benefice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 8: 252 – 256.
- Turnbull K.M. & S. Rahman** (2002). Endosperm texture in wheat. *Journal of Cereal Science*. 36: 327-337.
- Wang Q. & P.R. Ellis** (2014). Oat beta-glucan: Physico-chemical characteristics in relation to its blood-glucose and cholesterol-lowering properties. *British Journal of Nutrition*. 112 (2): S14-S13.