

Evaluación de componentes de sémolas de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) de alta dureza desarrollado mediante selección asistida por marcadores moleculares

Evaluation of components of high hardness bread wheat semolina (*Triticum aestivum* L.) developed through selection assisted by molecular markers

Presentación: 13 y 14 de septiembre de 2023

María Belén Vignola

Ingeniería de Procesos Sustentables (InProSus), UTN Facultad Regional San Francisco, San Francisco, Córdoba, Argentina
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
mbelenvignola@gmail.com

Agustín Nicolás Sawzuck Baldo

Ingeniería de Procesos Sustentables (InProSus), UTN Facultad Regional San Francisco, San Francisco, Córdoba, Argentina
baldoagustin2001@gmail.com

Alfonsina Ester Andreatta

Ingeniería de Procesos Sustentables (InProSus), UTN Facultad Regional San Francisco, San Francisco, Córdoba, Argentina
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
aandreatta@sanfrancisco.utn.edu.ar

Gabriela Teresa Pérez

Instituto de Ciencia y Tecnología de los alimentos Córdoba (ICYTAC), Córdoba, Argentina
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
gaperez@agro.unc.edu.ar

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades de las sémolas de trigo pan cosecha 2017 desarrolladas mediante selección asistida por marcadores moleculares para su uso en la producción de pastas. El contenido de cenizas en las sémolas analizadas cumple con los estándares establecidos. Se encontraron valores de almidón total (71,47%) y amilosa (26,06%) más altos en las sémolas estudiadas en comparación con estudios anteriores. El contenido promedio de pentosanos totales fue de 7,32% mientras que el de la fracción soluble fue 0,43%. Se observaron diferencias significativas entre los genotipos analizados en cuanto al contenido de almidón, amilosa, pentosanos totales y pentosanos solubles. La variación en los contenidos de ambas fracciones de pentosanos afecta la formación de gluten y el contenido de fibra dietética en el grano de trigo. Estos resultados son importantes para determinar la calidad de las pastas elaboradas con trigo pan modificado genéticamente.

Palabras clave: trigo pan, marcadores moleculares, pentosanos, almidón

Abstract

The objective of this study was to evaluate the properties of wheat flour semolina 2017 harvest developed through marker-assisted selection for use in pasta production. The ash content in the analyzed semolina meets the established standards. Higher values of total starch (71.47%) and amylose (26.06%) were found in wheat flour

semolina compared to previous studies. The average content of total pentosans was 7.32%, while the soluble fraction was 0.43%. Significant differences were observed among the analyzed genotypes regarding starch, amylose, total pentosans, and soluble pentosans content. The variation in both fractions of pentosans content affects gluten formation and dietary fiber content in wheat grain. These results are important for determining the quality of pasta made from genetically modified wheat flour.

Keywords: bread wheat, molecular markers, pentosans, starch

Introducción

Las pastas alimenticias son productos ampliamente consumidos en todo el mundo debido a su conveniencia, palatabilidad y propiedades nutricionales. La sémola de trigo candeal, obtenida de la molienda de granos de trigo duro (*Triticum durum* Desf.), ha sido tradicionalmente el ingrediente de elección para la elaboración de pasta (Sissons, 2008). Sin embargo, el trigo duro tiene requisitos climáticos específicos y no puede ser cultivado en áreas demasiado frías o demasiado cálidas y húmedas. Como resultado, se ha vuelto común encontrar pastas elaboradas a partir de harinas de trigo pan (*Triticum aestivum* L.). El almidón es el componente mayoritario de la harina de trigo representando entre 60 y 75% del peso del grano y la principal fuente de reserva de energía al proveer entre el 70 y 80% de las calorías consumidas por los seres humanos alrededor del mundo. El almidón se compone de dos tipos de polisacáridos: amilosa (25-28%) y amilopectina (72-75%). La amilosa es un polímero esencialmente lineal compuesto por unidades de glucosa unidas por enlaces α -(1-4), con escasos puntos de ramificación formados por enlaces α -(1-6); y la amilopectina está formada por una cadena central similar a la de la amilosa, pero posee ramificaciones con enlaces α -(1-6) cada 9 a 20 unidades de D-glucosa (Whilster y Daniel, 1984). En los almidones de trigo, se considera que la amilopectina contribuye a la absorción de agua, hinchamiento y pegajosidad de los gránulos de almidón, mientras que la amilosa y los lípidos tienden a retardar estos procesos (Singh et al., 2010). Además del almidón, el grano de trigo contiene un grupo de polisacáridos no amiláceos conocidos como arabinoxilanos o pentosanos. Los pentosanos constituyen del 20 al 27% de la aleurona, del 23 al 32% del salvado y del 2 al 4% del endospermo. Teniendo en cuenta la solubilidad, se pueden clasificar en pentosanos extraíbles en agua o solubles (PS) y no extraíbles en agua o insolubles (PI), que difieren en las propiedades fisicoquímicas (Li et al., 2009). Aunque el contenido de pentosanos en la harina de trigo es relativamente bajo, este polímero juega un papel importante en la funcionalidad de la harina, con ambas fracciones presentando diferentes efectos en los productos finales. Además, como parte de la fibra dietética, también tienen un gran impacto en la calidad nutricional de los alimentos a base de cereales.

La selección asistida por marcadores moleculares es una técnica prometedora para lograr la incorporación de alelos de genes deseables en el germoplasma de trigo pan. Estos genes pueden conferir características como la dureza del grano, la tenacidad del gluten, el contenido de proteínas y la pigmentación de la harina, mejorando así la calidad y las propiedades funcionales de las pastas elaboradas con trigo pan modificado genéticamente. El objetivo del siguiente trabajo es evaluar las propiedades (almidón y pentosanos) de las sémolas de trigo pan de alta dureza desarrollado mediante selección asistida por marcadores moleculares para su posterior utilización en la producción de pastas.

Desarrollo

Material vegetal

Para el desarrollo de germoplasma de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) apto para la elaboración de pastas se utilizaron los siguientes genotipos en un programa de mejora, desarrollado por el INTA Balcarce, con el objetivo de piramidizar genes de interés: la línea Chinese Spring Red Egyptian, ProINTA Gaucho y línea BC6F3 de la variedad BIOINTA 3000. Las líneas con el apilamiento de genes deseables para la elaboración de pastas se desarrollaron bajo el esquema de cruzamientos detallado en la Figura 1. Se analizaron 21 cultivares de la cosecha 2017.

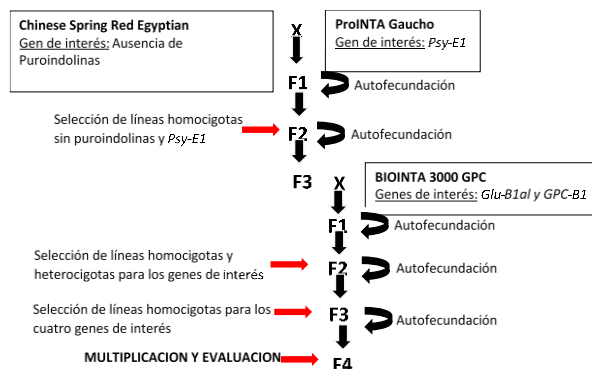


Figura 1: Esquema de cruzamientos y selección utilizados para el desarrollo de germoplasma de trigo pan apto para la elaboración de pastas

Determinaciones

La molienda de los granos de los 21 cultivares cosecha 2017, se llevó a cabo en un molino Buhler 202 D siguiendo las normas IRAM 15854 para el acondicionamiento del grano y la molienda. Se determinó la humedad de las sémolas según el Método 44-01, (AACC, 2001) utilizando una estufa de aire a 135 °C por 2 h. El contenido de cenizas se llevó a cabo según el Método 08-01 (AACC, 2001) incinerando las muestras en una mufla a 550°C por 5 h. La cuantificación de pentosanos totales y solubles se determinó siguiendo el método de Orcinol-HCl (Hashimoto et al., 1987). El contenido de almidón total y el de la molécula de amilosa se determinó de acuerdo al procedimiento descrito por Gibson et al. (1997), usando el kit enzimático de ensayo para amilosa/amilopectina y almidón total (Megazyme International, Irlanda). Los datos se analizaron mediante Análisis de Varianza (ANOVA) y los datos se compararon mediante el test de DGC con el programa INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2012).

Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se observan los valores mínimos, máximos y promedios para cada parámetro analizado de los de los 21 cultivares cosecha 2017.

Tabla 1. Valores mínimos, máximos y medios de los parámetros analizados expresados en porcentaje (%)

Variable	Media	Mínimo	Máximo
Humedad	14,76	11,71	17,08
Cenizas	1,13	0,86	1,45
Almidón total	71,47	61,96	77,49
Amilosa	26,09	19,71	30,36
Pentosanos Totales	7,32	5,05	9,52
Pentosanos solubles	0,43	0,22	0,64

Según el Código Alimentario Internacional el máximo contenido de cenizas presente en las sémolas de trigo duro debe ser de 2,10% base seca (CAIFS, 2019). El contenido de cenizas que presentaron las sémolas en estudio se encuentra dentro de los límites establecidos. El contenido de cenizas es un importante constituyente químico de la calidad de la harina y es un indicador de la pureza de la misma. El contenido de cenizas indica cuan completa y eficiente ha sido la separación del salvado del endosperma (Yildirim and Atasoy, 2020). Diversos autores encontraron valores de cenizas más bajos que los expuestos en el presente trabajo. Kaur et al. (2016) evaluaron 13 variedades de trigo duro diferentes y los valores de cenizas estuvieron comprendidos entre 0,55 y 1%. Yıldırım et al. (2019) evaluaron trigos duros y encontraron valores de ceniza entre 0,59-0,66% mientras que De santis et al. (2018) encontraron valores de cenizas en trigos duros entre 0,6-0,87%. Sin embargo, en trabajos como el de Rharrabti et al. (2003) se visualizaron mayores contenidos de ceniza en trigos duros (1,66-2,32%).

En cuanto al contenido de almidón total, trabajos encontrados en la búsqueda bibliográfica revelaron valores inferiores a los determinados en las sémolas objeto de estudio. El-Khayat et al. (2003) evaluaron seis cultivares de trigo duro y encontraron valores de almidón total entre el 64,3% y el 66,1%. Por otro lado, Guo et al. (2018) analizaron tres variedades de sémolas y obtuvieron valores de almidón total entre el 59,1% y el 61,6%. En cuanto al contenido de amilosa, se encontraron resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo en varios estudios. Brennan et al. (2012) registraron valores de amilosa entre el 24,80% y el 30,89% en trigos duros. Por su parte, Kaur et al. (2016) analizaron trece cultivares de trigo duro y obtuvieron valores de amilosa entre el 17,5% y el 28,4%.

Los resultados de pentosanos obtenidos en las sémolas analizadas concuerdan con las investigaciones de varios autores en el campo. De Santis et al. (2018) examinaron ocho variedades modernas y siete variedades antiguas de trigo duro italiano, registrando valores de pentosanos solubles entre 0,4% y 1%. Arif et al. (2018), por su parte, reportaron valores comprendidos entre 0,35% y 0,60%. Sin embargo, Maeda y Morita (2003) observaron mayores valores de pentosanos solubles (0,73% y 1,28%) en comparación con los encontrados en nuestro estudio de las sémolas.

Por otro lado, varios investigadores han reportado contenidos inferiores de pentosanos totales (PT) y pentosanos solubles. Hernández-Espinosa et al. (2020) evaluaron 39 variedades de trigo iraní y 43 variedades de trigo mexicano, encontrando que los contenidos de PT oscilaban entre 1,6% y 2,25%, mientras que los contenidos de PS estaban en el rango de 0,5% a 0,89%. Ciccoritti et al. (2011) y De Santis et al. (2018) reportaron valores más bajos de PT en comparación con nuestros hallazgos, registrando un rango de 4,5% a 4,8% y de 3,3% a 4,6%, respectivamente.

Se registraron diferencias significativas entre los genotipos analizados en el contenido de todas las determinaciones realizadas como se observa en la Tabla 2.

El cultivar ACA 1801 F 104-11 registró el mayor porcentaje de almidón total, mientras que Biointa 3000 GPC 202-5 presentó el menor contenido de almidón. En cuanto al contenido de amilosa, el cultivar ACA 1801 F 212-11 exhibió el mayor contenido, mientras que Boninta Facon 111-12 registró el menor contenido de este polisacárido. El almidón juega un papel crucial en la elaboración de las pastas al unirse a la matriz proteica y quedar embebido en el gluten. Posteriormente, en la cocción de las pastas ocurre una competencia por el agua entre el gluten (hidratación y coagulación de proteínas) y el almidón (hinchazón y gelatinización de los gránulos). La prevalencia de uno de estos dos mecanismos definirá el comportamiento de la cocción de pasta dando como resultado una pasta de buena calidad donde la matriz proteica se encuentre consolidada y los gránulos de almidón atrapados en ella, dando lugar a una entrada lenta y gradual del agua o, por el contrario, una pasta pegajosa resultado de la liberación de amilosa en el agua de cocción y la permanencia en la superficie de la amilopectina debido a la ruptura de la matriz proteica (Bustos et al., 2015). Por lo tanto, conocer el contenido de almidón y amilosa presente en las sémolas es de suma importancia para establecer la posterior calidad de las pastas.

En términos de PT el cultivar Prointa Gaucho 109-1 mostró el mayor porcentaje mientras que Biointa Carilo 101-10 presentó el menor porcentaje de PT. Por otro lado, en cuanto al contenido de PS, el cultivar Super Duro 55 205-8 fue el que presentó el mayor contenido, mientras que Biointa Carilo 203-10 registró el menor porcentaje de PS. Debido a que los pentosanos son el componente mayoritario de la pared celular del grano de trigo y, por lo tanto, el mayor componente de la fibra dietaria del grano, se puede utilizar dicho componente como un estimador del contenido total de fibra dietaria (Barron et al., 2020). Por otro lado, diversos autores concluyeron que ambas fracciones de pentosanos tienen un efecto negativo en la formación de gluten debido a una combinación de mecanismos físicos y químicos relacionados con la unión del agua y la presencia de ácido ferúlico (Heinio et al., 2016). La variación encontrada en el contenido de pentosanos totales y solubles entre los cultivares será de suma importancia a la hora de evaluar en conjunto el resto de los componentes de la sémola como lo son el contenido de proteínas, gluten y color.

Tabla 2. Contenido de almidón, amilosa, solubles (PS) y pentosanos totales (PT) en los 21 cultivares expresados en %

Genotipo	Almidón	Amilosa	PS	PT
ACA 1801 F 104-11	65,46 b	27,86 b	0,43 d	8,87 b
ACA 1801 F 212-11	59,21 b	29,57 b	0,43 d	5,50 a
Biointa 3000 GPC 102-5	63,35 b	26,99 b	0,38 c	7,07 b
Biointa 3000 GPC 202-5	56,66 a	26,45 b	0,34 b	8,02 b
Biointa Carilo 101-10	58,88 b	26,85 b	0,25 a	5,32 a
Biointa Carilo 203-10	60,21 b	28,32 b	0,24 a	7,91 b
Bon inta Facon 111-12	61,63 b	21,53 a	0,43 d	7,70 b
Bon inta Facon 204-12	63,76 b	26,24 b	0,46 e	6,18 a
Bon inta Quillen 208-3	61,55 b	26,31 b	0,51 f	8,95 b
Bon inta Quillen 107-3	63,59 b	26,48 b	0,50 f	7,38 b
Linea Lr19 PIN 106-7	63,47 b	27,10 b	0,51 f	7,39 b
Linea Lr19 PIN 201-7	60,57 b	23,63 a	0,39 c	6,33 a
Prointa Gaucho 109-1	56,37 a	27,90 b	0,48 e	9,07 b
Prointa Gaucho 209-1	61,97 b	26,76 b	0,37 c	7,91 b
Super Duro 31 108-9	62,61 b	25,79 b	0,38 c	5,51 a
Super Duro 31 206-9	55,87 a	28,14 b	0,63 g	7,65 b
Super Duro 34 207-6	61,15 b	20,84 a	0,46 e	6,63 a
Super Duro 39 105-4	61,94 b	22,83 a	0,54 f	8,45 b
Super Duro 39 210-4	62,00 b	23,27 a	0,46 e	8,04 b
Super Duro 55 103-8	62,45 b	26,99 b	0,28 a	6,02 a
Super Duro 55 205-8	56,69 a	28,12 b	0,52 f	7,88 b

Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Conclusiones

Se encontraron diferencias significativas en todos los parámetros analizados. En cuanto al contenido de almidón total, se encontraron valores superiores en las sémolas analizadas en comparación con estudios previos. Esto es relevante, ya que el almidón desempeña un papel fundamental en la calidad de las pastas, influyendo en su textura y comportamiento durante la cocción. En relación al contenido de amilosa, los resultados obtenidos fueron similares a los de otros estudios previos, lo que indica consistencia en los valores reportados. La amilosa es otro componente importante que afecta las propiedades de cocción y calidad de las pastas. El contenido tanto de pentosanos totales como de la fracción soluble presentó diferencias entre los cultivares analizados. Los pentosanos son componentes importantes de la fibra dietética y pueden afectar la formación del gluten, lo que tiene implicaciones en la calidad final de las pastas. Los resultados obtenidos en el presente estudio indican la importancia de evaluar el contenido de cenizas, almidón, amilosa y pentosanos en las sémolas de trigo modificado, ya que estos componentes influyen en la calidad y características de las pastas. Futuros ensayos son necesarios para obtener una evaluación completa de la calidad de las sémolas y su posterior impacto en la producción de pastas.

Referencias

- American Association of Cereal Chemists. 2000. Approved Methods Approved Methods of Analysis, 10th Ed. Methods 08-01, 44-01. AACC International, St. Paul, MN.
- Arif, S., Ahmed, M., Chaudhry, Q. y Hasnain, A. (2018). "Effects of water extractable and unextractable pentosans on dough and bread properties of hard wheat cultivars". *LWT - Food Science and Technology*, 97, 736-742.
- Barron, C., Bar-L'Helgouac'h, C., Champ, M. y Saulnier, L. (2020). "Arabinoxylan content and grain tissue distribution are good predictors of the dietary fiber content and their nutritional properties in wheat products". *Food Chemistry*, 328, 127111.
- Brennan, C.S., Samaan, J. y El-Khayat, G.H. (2012). "The effect of genotype and environmental conditions on grain physiochemical properties of Syrian durum wheat cultivars". *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 2627-2635.

Bustos, M.C., Perez, G.T. y Leon, A.E. (2015). "Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients". *RSC Adv.*, 5, 30780.

CAIFS, (2019). Codex Alimentarius International Food Standards CXS 178-1995. Standard for durum wheat semolina and durum wheat flour.

Ciccoritti, R., Scalfati, G., Cammerata, A. y Sgrulletta, D. (2011). "Variations in Content and Extractability of Durum Wheat (*Triticum turgidum L. var durum*) Arabinoxylans Associated with Genetic and Environmental Factors". *Int. J. Mol. Sci.*12, 4536-4549.

De Santis, M.A., Kosik, O., Passmore, D., Flagella, Z., Shewry, P.R. y Lovegrove, A. (2018). "Comparison of the dietary fibre composition of old and modern durum wheat (*Triticum turgidum* spp. durum) genotypes". *Food Chemistry*244, 304–310.

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L. y Tablada, M. <http://www.infostat.com.ar> InfoStat versión. (2012). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

El-Khayat, G.H., Samaan, J. y Brennan, C.S. (2003). "Evaluation of Vitreous and Starchy Syrian Durum (*Triticum Durum*) Wheat Grains: The Effect of Amylose Content on Starch Characteristics and Flour Pasting Properties". *Starch*, 55, 358–365.

Gibson, T.S., Solah, V.A. y McCleary, B.V. (1997). "A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with concanavalin A". *Journal of Cereal Science* 25: 111-119.

Guo, P., Yu, J., Wang, S. y Copeland, L. (2018). "Effects of particle size and water content during cooking on the physicochemical properties and *in vitro* starch digestibility of milled durum wheat grains". *Food Hydrocolloids*, 77, 445-453.

Hashimoto, S., Shogren, M. y Pomeranz, Y. (1987). "Cereal pentosans: Estimation and significance. I. Pentosans in wheat and milled wheat products". *Cereal Chemistry*, 64, 30-34.

Heinio, R.L., Noort, M.W.J., Katina, K., Alam, S.A., Sozer, N., Kock, H.J, Hersleth, M., Poutanen, K. (2016). "Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods - A review". *Trends in Food Science & Technology*, 47, 25-38.

Hernandez-Espinosa, N., Laddomada, B., Payne, T., Huerta-Espino, J., Govindan, V.K., Ibba, M.T., Pasqualone, A. y Guzman, C. (2020). "Nutritional quality characterization of a set of durum wheat landraces from Iran and Mexico". *LWT - Food Science and Technology*, 124, 109-198.

Kaur, A., Shevkani, K., Katyal, M., Singh, N., Kumar, A. y Singh, A.M. (2016). "Physicochemical and rheological properties of starch and flour from different durum wheat varieties and their relationships with noodle quality". *J Food Sci Technol*, 53(4), 2127–2138.

Li, S., Morris, C.F. y Bettge, A.D. (2009). "Genotype and environment variation for arabinoxylans in hard winter and spring wheats of the U.S. Pacific Northwest". *Cereal Chemistry*, 86(1), 88-95.

Maeda, T. y Morita, N. (2003). "Flour quality and pentosan prepared by polishing wheat grain on breadmaking". *Food Research International*, 36, 603–610.

Rharrabti, Y., Royo, C., Villegas, D., Aparicio, N. y García del moral, L.F. (2003). "Durum wheat quality in Mediterranean environments I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain". *Field Crop Research*, 80, 123-131.

Singh, S., Singh, N., Isono, N. y Noda, T. (2010). "Relationship of Granule Size Distribution and Amylopectin Structure with Pasting, Thermal, and Retrogradation Properties in Wheat Starch". *Journal of Science of Food and Agriculture*, 58, 1180–1188.

Sissons, M. (2008). "Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread". *Food*: 75-90.

Whilster, R. y Daniel, J. (1984). "Molecular structure of Starch". En: *Starch Chemistry and Technology*. Whilster R., BeMiller J., Paschal E. (eds.). Academic Press. NY. EUA.153-182.

Yildirim, A. y Atasoy, A.F. (2020). "Quality characteristics of some durum wheat varieties grown in Southeastern Anatolia Region of Turkey (GAP)". *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Derg*, 24(4), 420-431.

Yıldırım, A., Sönmezoğlu, O.A, Sayaslan, A., Kandemir, N.y Gökmen, S. (2019). "Molecular breeding of durum wheat cultivars for pasta quality". *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 11 (1), 15-21.