

Composición de la fibra dietética y dureza del grano en maíz: respuestas genotípicas al retraso de la siembra

Laserna, M.P.; González Belo, R.; Yakoncic, Z.; Méndez, L.; Izquierdo, N.

Laserna, M.P. Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP- CONICET. Ruta 226 km 73,5 Balcarce, Buenos Aires, Argentina. mariapaulalaserna@mdp.edu.ar

González Belo, R. Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP-. Ruta 226 km 73,5 Balcarce, Buenos Aires, Argentina. rgonzalezbelo@mdp.edu.ar

Yakoncic, Z. Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP-. Ruta 226 km 73,5 Balcarce, Buenos Aires, Argentina. zoeyakoncic@gmail.com

Méndez, L. Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria, INTA- Balcarce. Ruta 226 km 73,5 Balcarce, Buenos Aires, Argentina. mendez.luis@inta.gob.ar

Izquierdo, N. Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP- CONICET. Ruta 226 km 73,5 Balcarce, Buenos Aires, Argentina. nizquierdo@mdp.edu.ar

Dietary fiber composition and maize kernel hardness: genotypic responses to delayed sowing date

Abstract

Maize (*Zea mays* L.) composition mostly consists of starch, protein, and oil, while minor components like dietary fiber remain understudied. Genotypic variations drive kernel hardness, with Flint and popcorn exhibiting higher vitreousness than dent types. Arabinoxylans are components of dietary fiber and may influence endosperm structure. This study evaluated total arabinoxylan percentage (TOTAX%) and branching degree (A/X_{TOTAX}) in maize hybrids with contrasting hardness, analyzing their response to delayed sowing. Field experiments were conducted over two seasons in Balcarce, evaluating semi-dent, Flint, and popcorn hybrids under early and late sowing dates. Significant differences in TOTAX% were detected among hybrids, aligning with kernel hardness patterns. However, delayed sowing effects were genotype-dependent; late sowing reduced both hardness and TOTAX% in the semi-dent hybrid, whereas it increased both traits in popcorn. The Flint hybrid maintained stable TOTAX% values across sowing dates. The A/X_{TOTAX} was not related to hardness and showed no hybrid effect. These results demonstrate that maize dietary fiber content is driven by genotype x environment interactions during grain filling. Understanding these dynamics offers valuable insights to optimize its industrial exploitation for animal feed or human consumption according to specific demands.

Palabras Clave: maíz, calidad de granos, arabinoxilanos, dureza endospermática, ambiente postfloración

Keywords: maize, grain quality, arabinoxylans, kernel hardness, postflowering environment

Introducción

El maíz es uno de los principales cereales producidos a nivel mundial, el cual se utiliza ampliamente para la elaboración de alimentos para ganado, para humanos y una gran diversidad de productos industriales (adhesivos, edulcorantes, alcohol, etc.) (Davis, 2001). El mayor destino del grano es la alimentación animal, que representa aproximadamente el 60% de la producción global, con una parte significativa utilizada en la alimentación de ganado bovino, porcino y aves. Además, alrededor del 28% del maíz producido se utiliza para la fabricación de bioetanol. El maíz también tiene un rol importante en el consumo humano, representando el 15% de su uso, sobre todo en productos como tortillas, harina de maíz y cereales (FAO, 2023).

El grano está constituido mayoritariamente por almidón, proteína y aceite, pero también presenta componentes menores, que han sido menos estudiados, como la fibra dietética. La importancia del estudio del contenido y calidad de la fibra dietética reside en los efectos benéficos que puedan tener estos azúcares para la salud al ser consumidos. Conocer su concentración, variabilidad y de qué factores depende permitirá desarrollar estrategias para maximizar su aprovechamiento en la industria.

Los polisacáridos que no conforman el almidón (NSPs, por sus siglas en inglés) están formados por fibra insoluble (azúcares celulósicos, β - Glucanos insolubles, arabinoxilanos insolubles en agua y pectinas) y fibra soluble (principalmente compuesta por arabinoxilanos solubles en agua y β - Glucanos solubles). Los pentosanos (arabinoxilanos) constituyen aproximadamente un 70% de los NSPs en maíz (Choct, 1997) y forman parte de la fibra dietética.

Dentro del grupo de pentosanos encontramos aquellos que son solubles en agua, y los insolubles. Los primeros, están constituidos por arabinoxilanos y arabinogalactanos con ramificaciones escasas de L-arabinosa, mientras que los segundos son arabinoxilanos con ramificaciones de L-Arabinosa, unidas a la cadena de xilopiranososa (Izydorczyk y Biliaderis, 1995). Cada tipo de pentosano presenta diferentes efectos en el intestino delgado, debido a las propiedades físicas diferenciales de éstos, especialmente relacionadas con la absorción de agua. Por esta razón, la proporción relativa de estos compuestos afectará la calidad de la fibra alimentaria.

Una característica de los granos de interés para la industria de molienda seca y húmeda de maíz es la dureza del endosperma. Debido al rol en la estructura de las paredes celulares, es posible que la concentración de arabinoxilanos afecte también la estructura del endosperma, y, en consecuencia, la dureza final de los granos.

En maíz, las variaciones en dureza y la composición de los granos, entendida como la proporción de los diferentes componentes mayores, almidón y proteína y su composición, son explicadas por el genotipo, siendo los híbridos Flint los que presentan mayor dureza endospermática, mayor proporción de endosperma vítreo, mayor contenido de zeínas de tipo 2 (Robutti et al., 1997), amilopectina (Beckles y Thitisaksakul, 2014) y mayores contenidos de carotenoides (Saenz et al., 2021), en contraposición con los dentados. Por otro lado, el grano de maíz pisingallo presenta endosperma vítreo y de alta dureza, y almidón que al gelatinizarse a altas temperaturas se expande formando el pochoclo. Las variaciones en los azúcares que forman la fibra dietética en híbridos de diferente dureza endospermática aún no han sido descriptas.

Por último, otra fuente de variabilidad en la dureza de los granos está dada por el ambiente postfloración que experimentan los cultivos, ya que el ambiente (temperatura, radiación, relación fuente/destino) afecta la dinámica de deposición de los componentes de los granos a lo largo del período de llenado. Trabajos previos han descripto la variabilidad en dureza debida a las variaciones ambientales, siendo parte de esa variabilidad explicada por el contenido de proteínas y la relación amilosa/almidón (ej. Cerrudo et al., 2017; Martínez et al., 2019). En los mencionados trabajos se concluyó que existe una fracción de la variabilidad de la dureza que no pudo ser explicada por estos componentes.

El **objetivo** de este trabajo fue evaluar el porcentaje y el nivel de ramificación de arabinoxilanos totales en híbridos de maíz contrastantes en dureza endospermática, y su respuesta ante retrasos en la fecha de siembra.

Materiales y Métodos.

Ensayos de campo

Se realizaron dos ensayos (campañas 2023- 2024 y 2024- 2025) en el campo experimental de la UIB- Balcarce para la evaluación de tres híbridos contrastantes en la textura del endosperma de los granos y similar ciclo: semidentado (DK74-47), Flint (ACA514) y pisingallo (BAS5803), en dos fechas de siembra contrastantes. Para el primer año de ensayo, la fecha de siembra temprana, FS1, fue el 06 de noviembre de 2023, y la tardía, FS2, el 10 de diciembre de 2023. Para el segundo año de ensayo, la FS1 fue el 19 de noviembre de 2024, y la FS2, el 10 de diciembre de 2024. Los experimentos se realizaron sin limitaciones de agua y nutrientes, con un diseño en bloques completos al azar, con tres repeticiones. La siembra se realizó de manera manual, y se alcanzó una densidad de siembra 7 pl/m². La fertilización se realizó en V6 con 120 kg/ha de fosfato diamónico.

Análisis de la composición de los granos

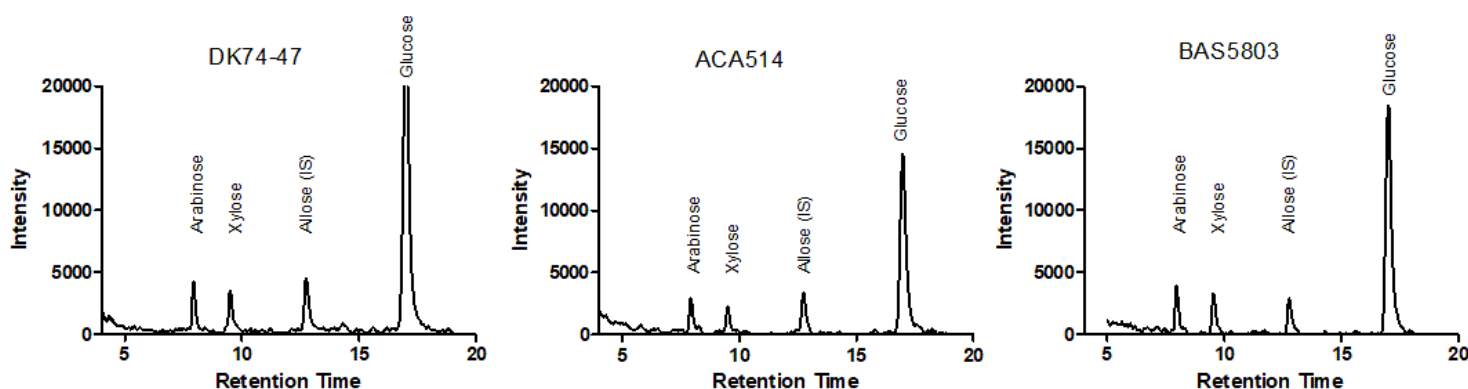
Se cosecharon las plantas de las hileras centrales de cada parcela en cada bloque, y se trillaron las espigas una vez alcanzado el 14% de humedad de grano. Con esos granos se determinaron los siguientes parámetros: (a) dureza endospermática, a través de la relación de molienda (RMol, Pomeranz et al., 1986); (b) porcentaje de arabinoxilanos totales (TOTAX%), mediante cromatografía de gases, siguiendo el protocolo de Gebruers et al. (2009) (basado en el método de Englyst y Cummings, 1984), con modificaciones. En la figura 1 se muestran cromatogramas correspondientes a muestras de cada uno de los híbridos en FS1 del primer año de ensayo. A partir de las áreas se calcularon el porcentaje de arabinoxilanos totales (TOTAX%), y su grado de ramificación, estimado con el cociente arabinosa/xilosa (A/X_{TOTAX}).



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

Figura 1. Cromatogramas correspondientes a muestras de cada híbrido en FS1 del año 1.



Resultados

Se detectaron diferencias en el TOTAX% entre los híbridos ($p < 0,05$). Los valores medios de TOTAX% fueron: ca. 6,18% para DK74-47, ca. 6,32% para ACA514 y ca. 9,38% para BAS5803.

La dureza de los granos (RMol) mostró la variabilidad esperada entre híbridos (ca. 3,59 para el DK74-47, ca. 4,88 para el ACA514, ca. 10,28 para el BAS5803) en ambos años de ensayo y fechas de siembra. Sin embargo, cabe destacar que el efecto del retraso de la fecha de siembra sobre este carácter fue diferente entre los híbridos. Para el híbrido semidentado DK74-47 el retraso de la fecha de siembra se relacionó con una caída en la dureza de los granos ($p < 0,0001$ Ca. 4,02 para la FS1 y ca. 3,17 para la FS2) y un menor TOTAX% ($p = 0,03$; Ca. 7,25% para la FS1 y ca. 5,12% para la FS2; Fig 2a). Por el contrario, el híbrido que presentó los mayores valores de dureza, el pisingallo BAS5803, mostró en ambos años de ensayo, aunque más marcadamente en el primero, un aumento de la dureza con el retraso de la fecha de siembra ($p < 0,0001$; Ca. 7,33 para la FS1 y ca. 13,23 para la FS2), y sólo en el primer ensayo acompañado de un aumento en el %TOTAX ($p = 0,03$; ca. 9,58 para la FS1 y ca. 12,69 para la FS2). Por último, el Flint ACA514 presentó una disminución de la dureza con el retraso de la fecha de siembra, aunque las diferencias estadísticas no fueron significativas. En cuanto al TOTAX%, la variabilidad generada por la combinación de año de ensayo y fecha de siembra mostró valores de TOTAX% similares para este híbrido.

El cociente arabinosa/xilosa (A/X_{TOTAX}) no mostró variaciones relacionadas a la dureza (Fig. 2b). Tampoco se detectó para este carácter un efecto significativo del híbrido ($p = 0,14$), pero sí efectos significativos del año de ensayo ($p < 0,0001$; ca. 1,17 para el año 1 y ca. 1,69 para el año 2) y de la fecha de siembra ($p = 0,0001$; ca. 1,21 para la FS1 y ca. 1,65 para la FS2).



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

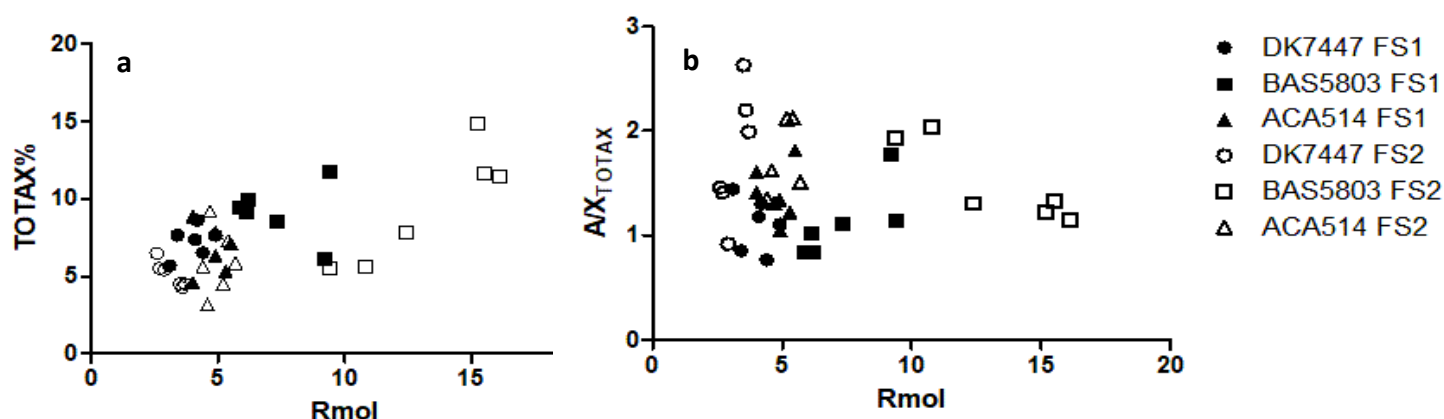


Figura 2. a- Relación entre el porcentaje de arabinoxilanos totales (TOTAX%) y la relación de molienda (RMol). **b-** Relación entre el A/X_{TOTAX} y RMol.

Los puntos representan la media del bloque (20 plantas de las hileras centrales). Los círculos corresponden al DK74-47, los cuadrados, al BAS5803 y los triángulos, al ACA514. Los puntos de las fechas de siembra tempranas (FS1) se representan en símbolos llenos, y los de las fechas de siembra tardías (FS2), con símbolos vacíos.

Discusión

Los resultados obtenidos en este trabajo evidenciaron variabilidad en el porcentaje de arabinoxilanos totales (TOTAX%) entre híbridos de maíz con distinta dureza de endosperma. Sin embargo, los efectos del ambiente postfloración sobre este componente no fueron evidentes de manera generalizada, manifestando una respuesta diferencial dependiente del genotipo. Mientras que el híbrido semidentado redujo su TOTAX% en siembras tardías, acompañado con una disminución de la dureza endospermática, el Flint se mostró estable frente a las variaciones ambientales del período de llenado.

El pisingallo presentó el mayor TOTAX% y un aumento en la dureza endospermática con el retraso de la fecha de siembra. Esto acarrea implicancias de gran relevancia tecnológica, ya que, desde el punto de vista estructural, y debido a la correlación del aumento de TOTAX% y la relación de molienda, una elevada concentración de pentosanos en las paredes celulares podría colaborar en la conformación de la matriz formada por las proteínas de reserva (zeínas) potenciando la dureza y vitreosidad características de este endosperma. Desde una perspectiva funcional y de salud humana, al ser el pisingallo un grano destinado al consumo directo, este alto contenido de TOTAX% eleva significativamente su valor como alimento funcional y fuente de fibra dietética, con los conocidos efectos benéficos asociados a la regulación metabólica y la salud intestinal (Anderson, 1985). Resta identificar las bases fisiológicas relacionadas con el aumento de dureza cuantificado en granos de fechas de siembra tardías, así como la estabilidad de los TOTAX luego de formarse el pochoclo.

Por otro lado, en este trabajo no se detectó un efecto significativo del tipo de híbrido ni del ambiente postfloración sobre el nivel de ramificación de los arabinoxilanos cuantificado a través de la relación A/X_{TOTAX} , la cual se mantuvo en valores comprendidos entre 0,77 y 2,63. Esta constancia estructural indica que el efecto de los arabinoxilanos como componentes clave de la fibra dietética pesará más por la variabilidad cuantitativa en su contenido total que por las modificaciones cualitativas en el nivel de ramificación de estos azúcares. Esto simplifica las estrategias de selección y manejo, sugiriendo que los esfuerzos industriales o de mejoramiento deben focalizarse en maximizar el volumen total producido, antes que en evaluar la calidad de estas moléculas. Conocer la composición y calidad de los arabinoxilanos componentes de la fibra dietética en granos de diferentes tipos de híbridos de maíz permite direccionar la producción en función de las necesidades específicas de las distintas industrias, ya sea una producción direccionada a la alimentación animal o al consumo humano. Para la industria de nutrición animal, la identificación de materiales con menor TOTAX% como el semidentado, resulta favorable para evitar caídas en la eficiencia de digestión del ganado asociadas a la resistencia de estos NSPs (Hammond et al., 2004). Por el contrario, los materiales con alto TOTAX% se posicionan como insumos de alto valor para la molienda y elaboración de alimentos humanos con perfiles saludables diferenciados.

Adicionalmente, la relación con la dureza de los granos también se evidenció con estos resultados (Fig. 2a), tal como se ha observado en otros cereales como trigo (Bettge y Morris, 2000) y cebada (Gamlath et al., 2008). Esta relación se observó especialmente en el maíz pisingallo, un grano de consumo humano directo cuyo interés en la calidad alimentaria es sumamente relevante, como se mencionó previamente. Sin embargo, resta estudiar en detalle cómo se afectan la totalidad de los parámetros de interés para esta industria específica. Los granos provenientes de fechas de siembra tardías mostraron una disminución en el nivel de explosión del endosperma para formar el pochoclo y un aumento concomitante en el porcentaje de granos que no explotaron (datos no mostrados). Este deterioro de la aptitud comercial responde presumiblemente a un efecto físico-químico de la humedad del grano al momento de la cosecha o el procesamiento, en estrecha interacción con la modificación detectada en la composición estructural del pericarpio y/o del endosperma.

Apoyo financiero

Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional de Mar del Plata- AGR 722/24

Referencias bibliográficas

- Anderson, J.W. 1985. Health implications of wheat fiber. The American Journal of Clinical Nutrition 41: 1103- 1112.
- Beckles, D.M.; Thitisaksakul, M. 2014. How environmental stress affects starch composition and functionality in cereal endosperm. Starch 66: 58-71.
- Bettge, A.D.; Morris, C.F. 2000. Relationships among grain hardness, pentosane fractions, and end- use quality of wheat. Cereal Chem., 77(2), 241- 247.

- Cerrudo, A.; Martínez, D.; Izquierdo, N.G.; Laserna, M.P.; Cirilo, A.; Reinoso, L.; Valentinuz, O.; Balbi, C.; Andrade, F. 2017. Environmental contribution to kernel hardness and yield of three contrasting maize hybrids. *Crop Sci.* 57, 2788-2798.
- Choct, M. 1997. Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. *Feed Milling International*. June Issue, pp. 13- 26.
- Davis, K. 2001. Corn milling, processing and generation of co-products. In: 62nd Minnesota Nutrition Conference, Minnesota Corn Growers Association Technical Symposium, Bloomington, MN.
- Englyst, H.N.; Cummings, J.H. 1984. Simplified method for the measurement of total non-starch polysaccharides by GLC of constituent sugars as alditol acetates. *Analyst* 109: 937- 942.
- FAO. 2023. Global cereal supply and demand brief. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>
- Gamlath, J.; Aldred, G.P.; Panozzo, J.F. 2008. Barley (1_3; 1_4)- β - glucan and arabinoxylan content are related to kernel hardness and water uptake. *J. Cereal Sci.* 47: 365- 371.
- Gebruers, K.; Courtin, C.M.; Delcour, J.A. 2009. Quantification of arabinoxylans and their degree of branching using gas chromatography. En: Shewry, P.R., Ward, J.L. (Eds.) *Analysis of bioactive components in small grain cereals*. AACC International Inc., Minnesota, USA, pp. 177- 189.
- Hammond, E.G.; Johnson, L.A.; Murphy, P.A. 2004. Soybean. Grading and marketing. En: Wrigley, C., Corke, H., Walker, C.E. (Eds.) *Encyclopedia of Grain Science*. Kansas State University, Manhattan, KS, USA. pp. 155- 159.
- Izydorczyk, M.S.; Biliaderis, C.G. 1995. Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, Volume 28, Issue 1, Pg 33-48, ISSN 0144-8617, [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(95\)00077-1](https://doi.org/10.1016/0144-8617(95)00077-1).
- Martínez, R.D.; Cirilo, A.; Cerrudo, A.; Andrade, F.H.; Izquierdo, N. 2019. Discriminating post-silking environmental effects on starch composition in maize kernels. *J. Cereal Sci.* 87, 150- 156.
- Pomeranz, Y.; Hall, G.E.; Czuchajowska, Z.; Lai, F.S., 1986. Test weight, hardness and breakage susceptibility of yellow dent corn hybrids. *Cereal Chem.* 63, 349–351.
- Robutti, J.L.; Borras, F.S.; Eyherabide, G.H. 1997. Zein Compositions of Mechanically Separated Coarse and Fine Portions of Maize Kernels¹. *Cereal Chemistry*, 74: 75-78. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.1.75>
- Saenz, E.; Borrás, L.; Gerde, J. 2021. Carotenoid profiles in maize genotypes with contrasting kernel hardness. *J. Cereal Sci.*, 99, 103206. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103206>.