

Jornada de Actualización
Calidad del grano de maíz para la industria y la producción en bovinos
Balcarce, 15 de Noviembre de 2013

Usos del maíz. Efectos del ambiente y del manejo sobre la composición del grano

por **Izquierdo, Natalia G.¹, Cirilo, Alfredo G.²**

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata y CONICET,

² Estación Experimental Agropecuaria Pergamino-INTA

El maíz es uno de los cereales más utilizados a nivel mundial debido entre otras cosas, a que posee una gran diversidad de usos. Si bien la mayor parte de la producción mundial se destina a alimentación animal, existen otras utilidades de este cereal ya sea en alimentación humana como en productos no alimenticios. Polenta, copos de desayuno, harina de maíz, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, golosinas, endulzantes, entre otros, son algunos de los usos alimenticios derivados del maíz. También se emplea este grano para la producción de bioetanol, fabricación de pinturas y disolventes, farmacia, productos cosméticos, polímeros biodegradables, entre otros. El procesamiento que se hace al grano de maíz cuando llega a la industria depende del destino que se le dará al producto. Los principales procesamientos son: i) molienda húmeda, ii) molienda seca, iii) obtención de aceite del germen extraído en ambas moliendas y iv) producción de bioetanol. Las industrias que realizan esos procesamientos demandan granos con determinadas características que son las que maximizan los rendimientos industriales y la calidad del producto obtenido.

La molienda húmeda se realiza cuando el objetivo es obtener el almidón del endosperma. En este tipo de molienda se separan

el pericarpio y el germen del endosperma y se hace una maceración del grano en la cual se lo lleva a una humedad cercana al 50%. Esa humedad sumada a SO₂ produce la activación de enzimas proteolíticas del endosperma que producen el ablandamiento de la matriz proteica y así se separa el almidón del resto de los componentes. Para este tipo de molienda se requieren granos de baja dureza endospermática, ya que así se minimizan los tiempos y mejora la eficiencia del proceso de maceración. Además, se requiere que los granos posean un alto contenido de almidón extractable y baja presencia de granos quebrados (Jennings *et al.*, 2002). En el caso de la molienda seca, el principal objetivo es obtener "flaking grits", que son fracciones de endosperma destinadas a la fabricación de copos de desayuno entre otras aplicaciones. Para ello, el grano se acondiciona con agua para hidratar diferencialmente al pericarpio y germen del endosperma, y tras una serie de etapas de molienda se separan las tres partes del grano. El endosperma es fraccionado para obtener los *flaking grits* y fracciones de menor granulometría como sémolas y harinas. Este tipo de molienda demanda granos de mucha dureza endospermática, ya que los granos más duros son aquellos que dan los mejores rendimientos y calidad de *flaking grits* (Chandrashekar & Mazhar, 1999). También es importante no tener granos con fisuras o partidos ya que eso condiciona el tamaño del *grit*.

El germen obtenido como sub-producto de las moliendas seca y húmeda puede ser destinado a la obtención de aceite, ya que este órgano concentra casi un 50% de lípidos. Para ello se realiza un acondicionamiento y molienda del germen y la extracción puede ser realizada por prensado y/o con la utilización de solvente. Tras la eliminación del solvente y una serie de etapas de

filtrados y centrifugaciones se obtiene finalmente el aceite crudo. Si el objetivo en cambio es producir bioetanol, se realiza una sacarificación del grano, etapa durante la cual el almidón se transforma en azúcares simples con la acción de enzimas específicas. En una etapa siguiente esos azúcares simples son fermentados por la acción de levaduras y tras una destilación se obtiene el etanol producido durante el proceso. Para este procesamiento se requieren granos con una alta concentración de almidón.

Los cuatro procesos industriales mencionados generan sub-productos que son destinados a alimentación animal. Éstos se caracterizan por poseer una alta concentración de proteína, aceite y/o fibra dependiendo del proceso del cual provienen. Por este motivo, es que para cualquiera de los destinos que tenga el grano de maíz en la industria, es necesario que el contenido de hongos y micotoxinas sea mínimo. Además, hay que considerar que algunos procesos industriales por los que pasa el grano producen la concentración de las micotoxinas en los sub-productos, lo que agrava el problema.

Cada industria demanda una calidad de grano específica de acuerdo al objetivo perseguido. La composición química del grano determina esa calidad. Se sabe que la composición química del grano está determinada genéticamente (Eyhérabide *et al.*, 1996), pero el ambiente puede influir sobre la definición final de esa composición (Cirilo *et al.*, 2003, 2011; Eyhérabide *et al.*, 2004, Tanaka *et al.*, 2005). La calidad del grano también puede variar durante el secado y almacenamiento postcosecha, pero aquí sólo se discutirá la determinación de la calidad en el campo al momento de la cosecha. A continuación se presenta un resumen de las variaciones en composición de granos por efecto del ambiente y el manejo del cultivo.

Variación de concentración de proteína, almidón y aceite del grano

El sustrato para el llenado de los granos son los hidratos de carbono provenientes de la fotosíntesis y los nutrientes del suelo y una menor proporción puede provenir de removilización de otras partes de la planta. Por ello, cuanto mejor es el estado fisiológico de las plantas los granos producidos serán de mayor peso y tamaño promedio, con mayor densidad y peso hectolítrico (Cirilo & Andrade, 1996; Cirilo *et al.*, 2011).

Cuando aumenta la relación fuente/destino (fuente: sustrato disponible para llenar los granos, destino: número de granos fijados) se sintetiza mayor cantidad de almidón, aceite y proteína por grano. Sin embargo, estas últimas son las que mayor cambio relativo presentan. Esto lleva a que en cultivos con muy buen estado fisiológico y altos rendimientos la concentración de proteínas se incremente y la de almidón disminuya (Uhart & Andrade, 1995; Seebauer *et al.*, 2011; Borrás *et al.*, 2002; Cerrudo *et al.*, 2013). Esta relación entre concentración de proteínas y rendimiento es distinta a la descrita para otros cereales. En trigo por ejemplo, incrementos en rendimiento producen una "dilución" de las proteínas por lo que su concentración en el grano disminuye. Si bien no se conoce con certeza el motivo de estas diferencias entre especies, es probable que parte se deba a que el maíz posee mayor absorción de nitrógeno postfloración que el trigo (Lemaire & Gastal, 2009).

La concentración de aceite en el grano permanece constante en un amplio rango de condiciones ambientales. Eso ocurre porque tanto la relación germen/grano como la concentración de aceite en el germen son bastante estables, siendo sólo afectadas

por un estrés muy marcado como una fuerte reducción de radiación incidente al comienzo del llenado o un estrés térmico (Borrás *et al.*, 2002; Tanaka & Maddonni, 2009; Mayer & Maddonni, comunicación personal).

Variaciones en la composición del almidón

El almidón está formado por amilosa (cadena principalmente lineal) y amilopectina (cadena mayormente ramificada) en una proporción 25-75 aproximadamente. La relación entre estos dos componentes influye sobre la digestibilidad de los granos y las propiedades térmicas del almidón, como entalpia, temperatura y rango de gelatinización, entre otros. Se ha observado que retrasos en la fecha de siembra o siembras en localidades de alta latitud en general no modifican marcadamente la concentración de almidón en grano pero sí la relación amilosa/almidón (Actis, 2007). Este efecto se relacionó con la temperatura durante el periodo de llenado, la cual afectó positivamente esta relación (Martínez *et al.*, 2013). Se desconoce aún si este cambio ocurre porque la temperatura afecta directamente la actividad de enzimas del grano involucradas en la síntesis de los componentes del almidón (Lenihan *et al.*, 2005) o si existe algún efecto indirecto que produzca el cambio.

Variaciones en la composición de proteínas

En el grano de maíz se encuentran mayormente cuatro tipos de proteínas: albúminas, globulinas, glutelinas y zeínas. Estas últimas son las principales proteínas de reserva, representan más del 50% de las proteínas del grano y se localizan exclusivamente en el endosperma. Cuando aumenta la disponibilidad de nitrógeno y

así la concentración de proteínas, las zeínas son las que mayormente se acumulan, aumentando su concentración respecto del resto de las proteínas (Tsai et al., 1980, Holding y Larkins, 2009). La cantidad de zeínas estaría muy relacionada con la dureza endospermática, ya que estas proteínas forman una red en el endosperma que rodea y comprime a los gránulos de almidón (Cirilo & Andrade, 1999). Se han identificado cuatro tipos de zeínas (alfa, beta, gamma y delta) que difieren en estructura y solubilidad. Algunas de ellas son azufradas y aportan fuerza a la red proteica del endosperma (Mestres & Matencio, 1996). Se sabe que la concentración total de zeínas se incrementa con la disponibilidad de nitrógeno y el estado fisiológico de las plantas, pero menos se sabe cómo son afectadas las relaciones entre las zeínas.

Variaciones en la composición del aceite

El principal constituyente del aceite de maíz son los triglicéridos. Las concentraciones de ácidos grasos en esos triglicéridos definen en gran parte sus propiedades industriales y nutricionales. Los ácidos grasos más abundantes son el linoleico (18:2), y oleico (18:1), seguidos por el palmítico (16:0), esteárico (18:0) y linoleico (18:3) en concentraciones decrecientes. Las concentraciones de dichos ácidos grasos pueden variar de acuerdo al ambiente. Se ha visto que incrementos en fuente/destino o temperatura durante el periodo de llenado de granos incrementan la concentración de ácido oleico (Figura 1) y disminuyen la de linoleico, siendo poco afectadas las concentraciones de los otros ácidos grasos (Izquierdo et al., 2009; Zuil et al., 2012). La concentración de tocoferoles en maíz es elevada y su síntesis en el grano es favorecida por altas relaciones fuente/destino. Sin embargo,

como en la misma proporción se favorece la síntesis de aceite, en general la concentración de tocoferoles en el aceite no se modifica marcadamente (Izquierdo et al., 2009). La alta relación oleico/linoleico y concentración de tocoferoles hacen que el aceite de maíz posea alta estabilidad oxidativa cuando proviene de buenos ambientes de producción.

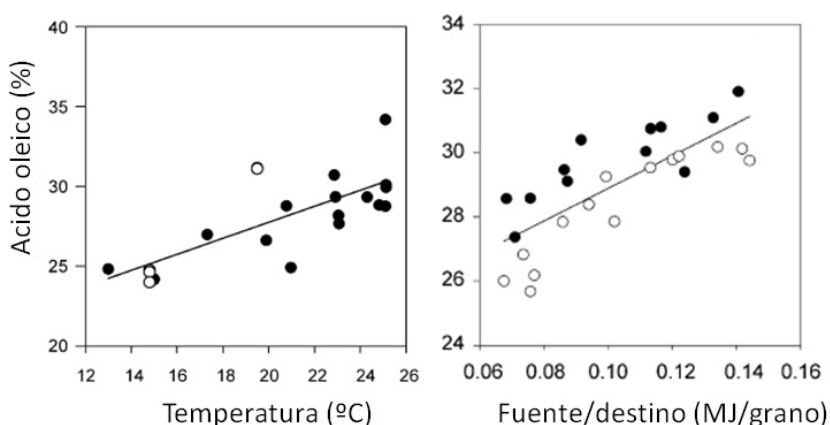


Figura 1. Relación entre la concentración de ácido oleico del aceite y la temperatura media diaria o la relación fuente/destino durante el llenado de los granos. Los símbolos corresponden a 2 experimentos (Izquierdo *et al.*, 2009).

Comentarios finales

Las industrias de maíz demandan granos con características muy específicas y distintas de acuerdo al procesamiento que se hará del grano. Las diferencias en la síntesis de los distintos componentes ante cambios en el ambiente hacen que sus concentraciones cambien y afecten así la calidad del grano. Más allá de los mecanismos involucrados en los cambios en la composición, es importante conocer de qué manera cada componente del grano responde al ambiente para poder diseñar estrategias de manejo de cultivo que tiendan a maximizar la calidad del grano en función

al destino que se le dará en la industria. Por ello, para producir los granos que demanda la industria se debe seleccionar el genotipo correcto pero también manejar adecuadamente el cultivo para maximizar la calidad buscada. Esto último es especialmente importante en Argentina donde el área de producción de este cereal incluye una gran diversidad de condiciones ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

Actis M. 2007. *Calidad industrial de maíz colorado duro para elaboración de "corn flakes": influencia del ambiente y el manejo del cultivo en el rendimiento de "flaking grits" y las propiedades térmicas del almidón*. Tesis para obtener el grado de *Magister Scientiae* Facultad de ciencias agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.

Borrás L, Curá JA & Otegui ME. 2002. Maize kernel composition and post-flowering source-sink ratio. *Crop Sci.*, 42: 781-790

Cerrudo A, Martínez D, Izquierdo NG, Cirilo A, Valentinuz O & Andrade F. 2013. Relación entre el rendimiento y la concentración de proteína en grano de maíz. *II Workshop Internacional de Ecofisiología de Cultivos Aplicada al Mejoramiento Vegetal*: 4-5.

Chandrashekar A & Mazhar H. 1999. The biochemical basis and implications of grain strength in sorghum and maize. *Cereal Sci.*, 30: 193-207

Cirilo A & Andrade F. 1996. Sowing Date and Kernel Weight in Maize. *Crop Sci.*, 3: 325-331

Eyhérbide GH, Robutti JL, Percibaldi NM, Presello DA & Alvarez M del P. 2004. Association between grain yield and endosperm hardness in maize cultivars. *Maydica*, 49: 319-326

Cirilo AG & Andrade FH. 1999. Maíz. En: Aguirrezábal L & Andrade F (Coord.). *Calidad de Productos Agrícolas. Bases eco-*

fisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. Facultad Cs. Agrarias- UNMdP y EEA Balcarce INTA (Eds.). Imprenta Laukolor, Buenos Aires: 315 p

Holding D & Larkins B. 2009. Zein Storage Proteins. In: Molecular Genetic Approaches to Maize Improvement. Kriz, B.A. Larkins (eds.). pp 269-286 .

Cirilo AG, Masague A & Tanaka W. 2003. Influencia del manejo del cultivo en la calidad del grano de maíz colorado duro. INTA Pergamino. *Revista de Tecnología Agropecuaria.*, 8(24): 6-9

Cirilo A, Actis M, Andrade F & Valentinuz O. 2011. Crop management affects fry-milling quality of Flint maize kernels. *Field Crops Res.*, 122: 140-150

Eyhéabide GH, Robutti JL & Borrás FS. 1996. Effect of near-infrared transmissión-based selection of maize hardness and the composition of zeins. *Cereal Chem.*, 73: 775-778

Izquierdo N, Aguirrezábal L, Andrade F, Geroudet C, Pereyra Iraola M & Valentinuz O. 2009. Intercepted solar radiation affects oil fatty acid composition in crop species. *Field Crops Res.*,114: 66-74.

Jennings SD, Myers DJ, Johnson LA & Pollak LM. 2002. Effects of Maturity on Grain Quality and Wet-Milling Properties of Two Selected Corn Hybrids. *Cereal Chem.*, 79(5): 697-702

Lemaire G & Gastal F. 2009. Quantifying crop responses to nitrogen deficiency and avenues to improve nitrogen use efficiency. P 171-211En: Sadras V & Calderini D (Eds) *Crop Physiology. Application for genetic improvement and agronomy*

Lenihan E, Pollak L & White P. 2005. Thermal properties of starch from exotic-by-adapted corn (*Zea mays* L.) lines grown in four environments. *Cereal Chem.*, 82: 683-689

Martínez RD, Cerrudo A, Andrade F, Cirilo A, Monzón JP & Izquierdo NG. 2013. Effect of temperature during grain filling on the amylose/starch ratio in maize hybrids with different kernel hardness. *ASA, CSSA and SSSA International Annual Meetings*.

3 al 6 de noviembre, Tampa, Florida. Trabajo en línea: <http://scisoc.confex.com/scisoc/2013am/webprogram/Paper82066.html>

Mestres C & Matencio F. 1996. Biochemical Basis of Kernel Milling Characteristics and Endosperm Vitreousness of Maize. *J. of Cereal Sci.*, 24: 283–290

Seebauer JR, Singletary GW, Krumpelman PM, Ruffo ML & Below FE. 2010. Relationship of source and sink in determining kernel composition of maize. *J. of Exp. Bot.*, 61: 511–519

Tanaka W, Cirilo A & Ruiz R. 2005. El manejo agronómico de maíz colorado afecta la calidad comercial del grano. En: *Actas del 8 Congreso Nacional de Maíz*. AIANBA ed. Rosario, Santa Fe, Argentina. 16-18 de Noviembre : 67-70

Tanaka W & Maddonni G. 2009. Maize Kernel Oil and Episodes of Shading during the Grain-Filling Period. *Crop Sci.*, 49: 2187–2197

Tsai CY, Huber DM & Warren HL. 1980. A proposed role of zein and glutelin as N sinks in maize. *Plant Physiol.*, 66: 330-333

Uhart SA & Andrade FH. 1995. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source-sink ratios. *Crop Sci.*, 35: 183-190

Zuil SG; Izquierdo NG, Luján J, Cantarero M & Aguirrezábal LAN. 2012. Oil quality of corn and soybean genotypes with increased oleic acid percentage as affected by intercepted solar radiation and temperature. *Field Crops Res.*, 127: 203-214