

Maíz colorado duro: el manejo del cultivo y la calidad comercial

Alfredo G. Cirilo

EEA Pergamino INTA

Colaboradores: Alejandro Masagré (1), Walter Tanaka (2) y Ana Di Martino (3)

(1) tesista MSc-UIB, (2) tesista grado-UBA, (3) tesista Dr-UNS

La dureza es una propiedad intrínseca del grano de maíz de valor comercial que se expresa en su resistencia a la acción mecánica. Es un carácter heredable, pero modificado, como el tamaño y otros atributos del grano también de interés comercial, por el manejo agronómico y el ambiente de cultivo. Comprender y manejar estas interacciones contribuirá a la obtención de granos colorados duros de calidad.

(a) La alternativa del maíz colorado duro

El principal destino de nuestra producción maicera es la exportación como "commodity" en un mercado mundial caracterizado por la existencia de una fuerte concentración de la oferta (Estados Unidos reúne más del 42%), donde los saldos exportables de Argentina no resultan formadores de precios. Sin embargo, las intensas transformaciones nacionales e internacionales en el comercio de granos y en la industria alimentaria presentan hoy un escenario con mercados cada vez más exigentes y una creciente demanda de productos de calidad diferenciada por parte de la industria procesadora de maíz por los que estaría dispuesta a pagar mejores precios.

En la industria de la molienda seca importan la dureza del endosperma del grano de maíz y la relación de tamaños de partícula que resulta de la molienda del grano, dando lugar a la obtención de "grits" que serán destinados a la elaboración de copos para desayuno o a la industria cervecera, sémolas para alimentación humana (polenta) y harinas diversas. La calidad exigida fundamentalmente por esta industria es aquella que permite el rendimiento de grandes proporciones de fracciones gruesas, inclinándose por el tipo de grano colorado duro. En Europa occidental, un mercado de alto poder adquisitivo, es preferido el maíz colorado duro del tipo "Plata" argentino no transgénico para la elaboración de preparaciones rápidas para desayuno derivadas del maíz. La Comunidad Europea no produce este tipo de maíz, donde se estima un mercado potencial de 300 mil toneladas por año, y cuya industria depende fundamentalmente de las importaciones de maíz duro argentino. El sobreprecio de alrededor de 14 dólares por tonelada estipulado en la comercialización de este producto con la Unión Europea (Norma XXIX de la Resolución 757 de la SAGPyA de 1997) representa un importante beneficio económico capitalizable por el productor. Quienes hoy producen y comercializan este tipo de maíz a través de empresas exportadoras locales reciben entre 4 y 12 dólares por tonelada.

Con una producción estimada en 1.200.000 toneladas (casi un 10% de la producción total nacional de maíz), los maíces colorados encuentran también una demanda interesada por parte de la industria local para la elaboración de alimentos tanto para el consumo humano como para la producción avícola. El maíz colorado contiene casi el doble de pigmentos carotenoides, carotenos y xantófilas que los maíces dentados, dando una coloración deseable a la piel de los pollos y a las yemas de los huevos cuando participa en la dieta. Tales pigmentos no pueden ser sintetizados por las aves y el uso de maíces colorados duros en la ración evita la adición de pigmentos sintéticos. Los maíces colorados duros registran valores de energía metabolizable verdadera superiores a los de los dentados debido a su mayor concentración de aceite en grano, por lo que también son preferidos en la dieta de bovinos y porcinos que requieren un alto contenido calórico, evitando el agregado de aceite en la ración.

Estas ventajas del maíz colorado duro promueven la preferencia de ciertos sectores de la demanda con destino a la producción avícola o a la industria de balanceados locales. Incluso en algunas zonas los acopios e industrias pagan sobreprecios a los productores de este tipo de maíz. Estas oportunidades de lograr mejores precios para el maíz, así como la de la exportación a Europa, contribuyen a mantener al maíz dentro de la rotación agrícola, con sus beneficios reconocidos sobre la sustentabilidad de los sistemas de producción, y lo fortalecen en

la disputa por el uso de la tierra con el cultivo de soja.

En las últimas décadas sólo unos pocos híbridos se encuadraron dentro del tipo original "Plata", aunque con limitadas posibilidades de competir en productividad con los materiales con germoplasma dentado. Pero hoy ya existen en el mercado de semillas de maíz nuevos híbridos de tipo colorado que compiten en rinde con los dentados, aunque su calidad puede a veces resultar insuficiente comparada con la de los colorados duros típicos tradicionales. Será necesario indagar en los procesos y mecanismos que ocurren en la planta de maíz durante la formación del grano que determinan su calidad final, así como en las estrategias de manejo del cultivo y las condiciones climáticas del área de producción que permitan expresar en estos híbridos nuevos, además de su potencial de producción, una calidad conforme a la demanda para asegurar su colocación y evitar reducciones en las bonificaciones.

(b) Requisitos de calidad para el maíz colorado duro

La resolución 757 de la SAGPyA, antes citada, especifica los atributos que debe reunir un maíz "Plata". Los granos, además de provenir de un maíz no transgénico (no OGM), deberán ser colorados o anaranjados, tener corona lisa sin hendiduras y presentar, en corte longitudinal, endosperma córneo dominante. Además deberán registrar valores máximos de 25% para el test de flotación (en solución salina de 1.25 g cm⁻³ de densidad) y no menos de 76 kg hl⁻¹ de peso hectolítrico. Pero para un maíz colorado duro de primera calidad las exigencias son mayores. En efecto, deberá alcanzar valores de peso hectolítrico de 79 kg hl⁻¹ o superiores, porcentajes máximos de flotación de 12% (en una mezcla líquida de mayor densidad: 1.305 g cm⁻³), una relación de molienda elevada (más de cuatro veces en peso de fracciones gruesas respecto de las más finas), granos de tamaño grande (no menos de 50% de los granos que queden retenidos en la zaranda de 8 mm y no más de 3% que atraviesen la zaranda de 6,5 mm, con un peso mínimo por grano de 265 mg), de color rojizo o rojizo anaranjado (por tabla de colores) y con niveles de micotoxinas inferiores a las tolerancias internacionales.

(c) La determinación de la calidad y la relación fuente-destino

La dureza es una propiedad intrínseca del grano vinculada a la presencia de endosperma córneo y está asociada a su mayor densidad y vitrosidad. Esa mayor vitrosidad y densidad dependerían de un fuerte ligamento entre el almidón y las proteínas (esencialmente las zeínas ricas en aminoácidos azufrados) en la fracción córnea del endosperma. A medida que el grano madura en el campo, la desecación del endosperma aproxima y comprime los cuerpos proteicos entre sí, pudiendo establecerse uniones disulfuro cruzadas entre gama zeínas (ubicadas en la periferia de los cuerpos proteicos) que resultarían en un incremento de la vitrosidad del endosperma.

El tamaño del grano es una característica comercialmente relevante. Factores de estrés que reducen el crecimiento de las plantas durante el llenado de los granos limitan la provisión de asimilados a los mismos. La cantidad de biomasa acumulada en la planta por cada grano durante su llenado (relación fuente-destino) determina el peso final que puede alcanzar (Cirilo y Andrade, 1996; Borrás y Otegui, 2001). Cuando existen limitaciones al crecimiento del cultivo durante el llenado de los granos se reduce también la energía disponible para la absorción y reducción de nitrógeno y azufre desde el suelo (Uhart y Andrade, 1995). En consecuencia, el flujo de nitrógeno y azufre hacia los granos se reduciría en mayor medida que el de carbohidratos, disminuyendo la concentración de nitrógeno y azufre en el grano a la cosecha, lo que afectaría su dureza.

Durante la última campaña 2002/03 se modificó experimentalmente en INTA Pergamino la relación fuente-destino durante la formación del grano en un cultivo de maíz Cóndor (híbrido simple de alto rendimiento con potencial para alcanzar los requisitos de un maíz colorado duro de calidad). Mediante la colocación de redes de sombreado en unos casos y la restricción en la polinización de las barbas en otros, se consiguió un amplio rango de relaciones fuente-destino. En la [Figura 1](#) se muestra la respuesta del peso de grano a los valores de relación fuente-destino obtenidos, encontrando valores por debajo de los requisitos de calidad para los menores valores de relación fuente-destino. La distribución de tamaños de grano en el experimento descrito mostró proporciones ampliamente conformes a los requisitos de calidad en el extremo superior del rango de relación fuente-destino explorado, pero valores notoriamente deficientes en el extremo opuesto ([Figura 2](#)).

Los contenidos de proteína y almidón en el endosperma del grano de maíz, ambos componentes participantes en la determinación de la dureza, se incrementan con la relación fuente-destino establecida durante su llenado, alcanzando su valor máximo a altos niveles de

esa relación (Borrás et al., 2002). Es así como los valores de dureza estimados a través del test de flotación, de la relación de molienda y del peso hectolítrico mostraron valores más favorables a medida que la relación fuente-destino se incrementó (Figura 3).

El color del endosperma también se modificó en respuesta a las variaciones generadas en la relación fuente-destino. Los pigmentos carotenoides, carotenos y xantófilas son responsables de la coloración rojiza del endosperma. Su síntesis está ligada al metabolismo lipídico y el contenido de aceite del grano también responde positivamente a la relación fuente-destino durante el llenado (Borrás et al., 2002). Descomponiendo el color del endosperma del grano en sus coordenadas cromáticas: L (intensidad), a (color rojo) y b (color amarillo), en el experimento descrito se obtuvieron granos más colorados (mayor L, mayor a y menor b) cuanto mayor fue la relación fuente-destino (Figura 4).

(d) El manejo del cultivo y la calidad del grano

Los menores valores del rango de relaciones fuente-destino explorado en el experimento analizado anteriormente representan situaciones de cultivo con abundante granazón (excelentes condiciones durante la floración; Andrade et al., 1999) y/o deficientes condiciones para el crecimiento del cultivo durante la postfloración (Uhart y Andrade, 1995; Cirilo y Andrade, 1996; Maddonni et al., 1998), mientras que los mayores valores representan la situación inversa, siendo los valores medios los más frecuentes en situaciones de producción a campo. Del mismo modo que las variaciones climáticas, las variaciones en el manejo del cultivo pueden determinar modificaciones en la relación fuente-destino. Durante la última campaña se evaluó la incidencia de la fecha de siembra, la densidad de plantas y la nutrición mineral (N+S) en la expresión de la calidad comercial con sendos experimentos en INTA Pergamino. Se utilizó el mismo híbrido Cóndor de alto potencial de rinde, como se muestra en la Tabla 1. Las variaciones de manejo analizadas modificaron la relación fuente-destino en el cultivo (Tabla 2). En consecuencia, se obtuvieron granos que mejor conformaron los requisitos de alta calidad para un grano colorado duro, manteniendo un elevado potencial de rinde, con siembra temprana, densidad moderada y buena disponibilidad de nitrógeno y azufre en postfloración (Tabla 2 y Tabla 3).

Generalmente, los contratos de producción de maíz colorado duro exigen la cosecha con baja humedad en el grano (15% o menor). Esto favorece el grado de dureza alcanzable, como ya mencionáramos, al permitir el desecamiento lento del endosperma en condiciones de campo, a la vez que posibilita su transporte en contenedores o camiones "limpios" directamente del campo al puerto exportador, eliminando potenciales focos de contaminación con granos transgénicos en acopios intermedios. Sin embargo, la permanencia de las espigas en el campo por largo tiempo (condicionado por la aptitud desecante de cada ambiente) favorece la proliferación de hongos productores de micotoxinas. El anticipo de la cosecha reduce este riesgo, pero limita la calidad del grano. Para hallar una solución de compromiso en este conflicto, se evaluó la incidencia del anticipo de la cosecha en la expresión de la calidad comercial en el grano del híbrido Cóndor en INTA Pergamino durante 2002/03. La cosecha con elevada humedad en el grano (24%) obligó al secado artificial y limitó la calidad obtenida (Figura 5). La mejor calidad se logró cosechando con grano seco (14%), pero el anticipo de la cosecha con 19% de humedad en el grano permitió alcanzar una calidad semejante, reduciendo el riesgo de infección con micotoxinas (los análisis toxicológicos se hallan en curso actualmente).

Consideraciones finales

La calidad comercial del grano de un híbrido de maíz colorado duro de alto potencial de rinde resultó ser modificado de manera notable por el manejo agronómico y el ambiente de cultivo. Los resultados presentados deberán ser confirmados contemplando una mayor variedad de genotipos y ambientes, actividad que está siendo abordada actualmente por de un proyecto de alcance nacional en INTA. Una mejor comprensión de esas interacciones permitirá orientar decisiones de manejo del cultivo de maíz colorado duro en función de obtener la mejor calidad posible en cada ambiente de producción asegurando altos valores de productividad y rentabilidad como alternativa válida para conservar al maíz en nuestras rotaciones agrícolas.

Referencias

- Andrade F.H., Vega C., Uhart S.A., Cirilo A.G., Cantarero M.G., Valentinuz, O. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Science*, 39:453-459.
- Borrás L., Otegui, M.E. 2001. Maize kernel weight response to post-flowering source-sink ratio. *Crop Science*, 41:1816-1822.
- Borrás L., Curá J.A., Otegui, M.E. 2002. Maize kernel composition and post-flowering source-sink ratio. *Crop Science*, 42:781-790.

Cirilo A.G., Andrade F.H. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Science*, 36:325-331.

Maddonni, G.A., Otegui, M.E., Bonhomme, R. 1998. Grain yield components in maize. II. Postsilking growth and kernel weight. *Field Crops Res.* 56:257-264.

Uhart, S.A., Andrade, F.H. 1995. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. *Crop Science*, 35:183-190.

Tabla 1: Rendimiento en grano (14% humedad) y sus componentes (número de granos y peso del grano) del híbrido Cóndor sembrado en tres experimentos: i) con dos fechas de siembra (densidad de 75 mil plantas ha⁻¹), ii) con cuatro densidades de plantas (siembra de 25-Oct) y iii) con dos niveles de fertilización N+S en floración (150 kg N ha⁻¹ + 60 kg S ha⁻¹, siembra de 25-Oct y 75 mil plantas ha⁻¹), sin limitaciones hídricas en INTA Pergamino durante 2002/03. Se incluyen valores de error estándar de la media.

	Rendimiento (Tn ha ⁻¹)	Número de granos (m ⁻²)	Peso de grano (mg)
Fecha de siembra			
25-Oct.	13,2	4073	282
18-Dic.	9,7	3566	239
eem	0,3	90	7
Densidad de plantas			
60.000 pl ha ⁻¹	12,6	3631	297
75.000 pl ha ⁻¹	13,6	4053	289
90.000 pl ha ⁻¹	13,5	4135	282
105.000 pl ha ⁻¹	13,3	4161	275
eem	0,4	125	3
Fertilización N+S en floración			
Sin N+S	13,4	4279	270
Con N+S	13,8	4297	277
eem	0,4	199	5

Tabla 2: Número de granos por planta, crecimiento de planta en postfloración, relación fuente-destino y proporción de tamaños de granos > 8 mm y < 6,5 mm del híbrido Cóndor sembrado en tres experimentos: i) con dos fechas de siembra (densidad de 75 mil plantas ha⁻¹), ii) con cuatro densidades de plantas (siembra de 25-Oct) y iii) con dos niveles de fertilización N+S en floración (150 kg N ha⁻¹ + 60 kg S ha⁻¹, siembra de 25-Oct y 75 mil plantas ha⁻¹), sin limitaciones hídricas en INTA Pergamino durante 2002/03. Se incluyen valores de error estándar de la media.

	Número de granos (planta ⁻¹)	Crecimiento postfloración (g planta ⁻¹)	Relación fuente-destino (g grano ⁻¹)	Proporción de tamaños (%)	
				> 8 mm	< 6,5 mm
Fecha de siembra					
25-Oct.	555	214	0,385	47,2	1,3
18-Dic.	485	141	0,291	38,5	3,5
eem	12	13	0,023	4,1	0,9
Densidad de plantas					
60.000 pl ha ⁻¹	608	264	0,434	55,2	1,2
75.000 pl ha ⁻¹	544	204	0,374	46,5	1,8
90.000 pl ha ⁻¹	475	177	0,370	49,4	1,4
105.000 pl ha ⁻¹	410	151	0,367	46,9	1,5
eem	15	17	0,032	4,9	0,4
Fertilización N+S en floración					
Sin N+S	572	208	0,360	42,6	1,5
Con N+S	570	221	0,409	45,6	1,5

Tabla 3: Dureza (estimada por índice de flotación, relación de molienda y peso hectolítrico) y color (estimado por coordenadas cromáticas) del grano del híbrido Cóndor sembrado en tres experimentos: i) con dos fechas de siembra (densidad de 75 mil plantas ha⁻¹), ii) con cuatro densidades de plantas (siembra de 25-Oct) y iii) con dos niveles de fertilización N+S en floración

(150 kg N ha⁻¹ + 60 kg S ha⁻¹, siembra de 25-Oct y 75 mil plantas ha⁻¹), sin limitaciones hídricas en INTA Pergamino durante 2002/03. Se incluyen valores de error estándar de la media.

	Índice de floración (%)	Relación de molienda	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Color		
				L	a	b
Fecha de siembra						
25-Oct.	7,5	4,4	79,3	62,84	29,40	35,09
18-Dic.	1,8	3,6	79,0	62,76	29,31	35,12
eem	1,2	0,3	0,1	0,15	0,27	0,15
Densidad de plantas						
60.000 pl ha ⁻¹	4,5	5,3	79,1	62,71	29,75	34,89
75.000 pl ha ⁻¹	8,3	5,1	79,1	62,90	28,90	35,38
90.000 pl ha ⁻¹	8,5	4,8	78,9	62,96	29,83	34,85
105.000 pl ha ⁻¹	13,0	4,8	79,0	63,27	28,41	35,64
eem	2,2	0,2	0,4	0,18	0,50	0,27
Fertilización N+S en floración						
Sin N+S	8,3	3,3	79,9	62,62	30,29	34,59
Con N+S	1,8	4,0	79,4	62,64	30,41	34,53
eem	4,8	0,3	0,2	0,15	0,39	0,22

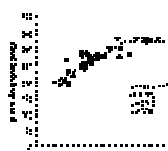


Figura 1: Relación entre la biomasa acumulada en la planta en posfloración por cada grano (relación fuente-destino) y el peso del grano del híbrido Cóndor sembrado el 25-Oct con 75 mil plantas ha⁻¹ sin limitaciones hídricas en INTA Pergamino durante 2002/03.



Figura 2: Relación entre la biomasa acumulada en la planta en posfloración por cada grano (relación fuente-destino) y el tamaño del grano (% en peso de granos enteros > 8 mm y < 6,5 mm) del híbrido Cóndor sembrado el 25-Oct con 75 mil plantas ha⁻¹ sin limitaciones hídricas en INTA Pergamino durante 2002/03.



Figura 3: Relación entre la biomasa acumulada en la planta en posfloración por cada grano (relación fuente-destino) y la dureza del grano evaluada por índice de flotación (a), relación de molienda (b) y peso hectolítrico (c) en el híbrido Cóndor sembrado el 25-Oct con 75 mil plantas ha⁻¹ sin limitaciones hídricas en INTA Pergamino durante 2002/03.



Figura 4: Relación entre la biomasa acumulada en la planta en posfloración por cada grano (relación fuente-destino) y el color del grano evaluado por coordenadas cromáticas: coeficiente L (a), coeficiente a (b) y coeficiente b (c) en el híbrido Cóndor sembrado el 25-Oct con 75 mil plantas ha⁻¹ sin limitaciones hídricas en INTA Pergamino durante 2002/03.



Figura 5: Variación en la dureza del grano evaluada por índice de flotación (a), relación de molienda (b) y peso hectolítrico (c) en función de la demora en la cosecha y la humedad del grano (20 Mar: 24%, 4 Abr: 19% y 15 May: 14%) en el híbrido Cóndor sembrado el 25-Oct con 75 mil plantas ha⁻¹ sin limitaciones hídricas en INTA Pergamino durante 2002/03.