

Efecto de la dureza del endospermo del maíz sobre las propiedades de hidratación y cocción

González R.J., Torres R., De Greef D., Bonaldo A., Robutti J., Borrás F.

Instituto de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral,
Paraje El Pozo, Santa Fe, Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Estación Experimental Pergamino, Buenos Aires, Argentina

RESUMEN. El conocimiento acerca de la asociación entre las propiedades de cocción y la dureza del endospermo del maíz puede ayudar tanto a los nutricionistas como a los procesadores a seleccionar las materias primas para elaborar productos a base de maíz, particularmente aquellos que se consumen en forma de dispersiones cocidas. Se seleccionaron siete cultivares de maíz con distinta dureza, la que fue evaluada utilizando diferentes métodos. Los granos fueron descascarados, desgerminados y reducidos a harinas para determinar la composición, el poder de hinchamiento (PH), la solubilidad y la respuesta amilográfica. Los resultados mostraron que las diferencias en dureza de endospermo (directamente relacionada con el contenido de proteína de la harina), puede explicar las diferencias observadas tanto en el poder de hinchamiento como en los valores de consistencia amilográfica. Los cultivares de endospermo más duro muestran los menores valores de PH a alta temperatura y también los menores valores de consistencia amilográfica (viscosidad). Por el contrario los endospermos más blandos presentan los mayores valores de PH y de consistencia amilográfica. Estas diferencias son atribuidas a la restricción al hinchamiento de los gránulos del almidón que provoca la estructura de la matriz proteica. Las medida de dureza del endospermo y las de PH a 95 °C pueden ser muy útiles para seleccionar cultivares que serán utilizados para lograr alimentos tales como atoles, polenta, etc.

Palabras clave: Maíz, endospermo, dureza, hidratación, cocción, amilograma.

INTRODUCCION

La demanda mundial de maíz está controlada por el mercado de alimentos para animales en el cual los aspectos comerciales tradicionales determinan el precio. Sin embargo, para la industria alimentaria, aparecen algunas características especiales que les permiten diferenciar los distintos tipos de maíz y sus respectivos cultivares de acuerdo con los usos específicos y consecuentemente surgen precios diferenciados. En la Argentina, segundo exportador mundial de maíz, el uso del mismo está orientado principalmente a la alimentación animal y una menor proporción se destina a la elaboración de cerveza, jarabes, almidón y sémolas para diversos productos. Los criterios de calidad comercial existentes no son suficientes para definir las aplicaciones específicas en alimentos y los

SUMMARY. Influence of maize kernel hardness on flour hydration and cooking properties. Knowledge of the association between cooking properties and endosperm hardness may help nutritionist and processors to select raw materials for preparing maize based food products, particularly those eaten as cooked dispersions. Seven commercial maize cultivars differing in hardness were selected to evaluate endosperm hardness on the kernels and some characteristics such as composition and hydration and cooking properties on the grits obtained from those maizes. Results show that the differences in endosperm hardness (directly related to grits protein content) can explain the differences in swelling and amylographic consistencies values. Cultivars with the hardest endosperm show the lowest values at high temperature. They also show the lowest amylographic consistencies. On the other hand softer endosperms present the highest swelling power and the highest amylographic consistencies. These differences are attributed to the restriction for starch swelling caused by the protein matrix. Endosperm hardness measurements and swelling power at 95 °C, can be useful to select cultivars that are going to be used to prepare maize based foods like atoles, polenta, etc.

Key words: Maize, endosperm hardness, swelling, amylographic consistency.

industriales están cada vez más concientes acerca de la necesidad de establecer parámetros de calidad directamente vinculados a usos específicos. Para algunos alimentos tradicionales, el color es un factor determinante, por ejemplo: el maíz amarillo es preferido para "polenta" y el blanco para "arepas" (1). Similarmente en México también el maíz blanco es preferido para la elaboración de "tortillas", pero el inadecuado suministro de éste ha forzado el uso del amarillo (2).

Por otra parte la demanda de cereales precocidos creció notablemente en los últimos años (3,4). Entre los distintos cereales utilizados para elaborar snacks, cereales para el desayuno, arepas, átoles, harinas nixtamalizadas, etc, el maíz es el más importante (5-7).

La dinámica del mercado actual exige a la industria la diversificación de sus productos y por lo tanto los procesadores

de alimentos a base de maíz requieren precisar los criterios de calidad del grano. Los esfuerzos de los genetistas están orientados a la obtención de nuevos cultivares con atributos de calidad adecuados a los requerimientos industriales y éstos a su vez están directamente asociados con las propiedades bioquímicas y mecánicas del grano.

Existe una falta de información acerca de tales propiedades para los cultivares comerciales argentinos (8). Tal información es necesaria para que los genetistas puedan seleccionar los germoplasmas y desarrollar los cultivares y además esta información puede ayudar a los industriales a elegir aquellos cultivares que mejor se adaptan a sus requerimientos.

Algunos autores han orientado sus estudios sobre las propiedades fisicoquímicas del almidón encontrando que el grado de cristalinidad, el contenido de amilosa, la temperatura de gelatinización, la cantidad de lípidos libres y ligados varían con el genotipo de maíz (9-11).

Otros autores han analizado la relación entre las proteínas y algunas características del grano tales como: densidad y susceptibilidad a la rotura (12- 14).

Se ha verificado que las características del endospermo determinan el rendimiento de la molienda seca. A mayor proporción de endospermo harinoso mayor será la proporción de fracciones finas («break flour») y esta característica varía con cada cultivar (15).

Por otra parte la utilización del o de harinas en muchos productos precocidos requiere del conocimiento de las propiedades de hidratación y del comportamiento durante la cocción.

En la cocción por extrusión, los productos expandidos (snacks) a partir de maíz waxy son densos y con baja expansión, similarmente los maíces dentados dan productos menos expandidos que los correspondientes a maíces duros (16). En el caso de la expansión por explosión (puffing), aquellos cultivares con mayor proporción de endospermo córneo (flinty) producen mayor volumen (17). De acuerdo a Whalen (18), algunas propiedades fisicoquímicas tales como la distribución del agua en el grano y la temperatura de gelatinización son determinantes para la calidad de los productos llamados «corn flakes»

Otro aspecto importante a destacar es que para algunos productos que son consumidos como dispersiones cocidas, tales como «atoles» y «polenta», la densidad energética de la porción comestible es relevante desde el punto de vista nutricional y la misma está relacionada con la concentración de sólidos de la dispersión. Considerando que la aceptabilidad depende de la consistencia o viscosidad, el grado de hinchamiento de las partículas de harina alcanzado durante la cocción finalmente determinará la densidad energética.

El objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto de la dureza del endospermo del maíz sobre las propiedades de hidratación y cocción de las harinas correspondientes a distintos cultivares.

MATERIALES Y METODOS

Materiales

Siete cultivares de maíz con diferente dureza de endospermo fueron utilizados para este estudio. Las semillas híbridas: Popper, típico pisingallo para popcorn (P2); Rodas, córneo colorado (C1); Atlas (S1) y Midas (S2), típicamente semidentados y Albion, dentado harinoso (D) fueron provistas por Sursem SW y el híbrido DK4F37, córneo colorado (C2) por Dekalb. El criadero de la Estación Experimental Pergamino del INTA proveyó la variedad «Paloma», pisingallo para popcorn (P1).

Métodos de evaluación de dureza de endospermo

La dureza del endospermo fue evaluada a través del índice de flotación, de la relación gruesos a finos y del valor NIR (reflectancia en el infrarrojo cercano), según técnicas propuestas por Robutti (19).

- Índice de Flotación (Flot.)*: El índice de flotación se obtuvo colocando 100 granos sanos en un Erlenmeyer de 250 ml conteniendo 170 ml de una mezcla kerosene-tetracloruro de carbono ($d=1,305$ a 25°C), luego de una agitación breve con varilla de vidrio, se contaron los granos que flotaron. El índice de flotación se calculó como el porcentaje de granos que flotaron.
- Relación grueso/fino (G/F)*: La relación grueso/fino fue determinada moliendo 50 g de muestra durante 15 segundos en un molino de laboratorio Stein (Stein Laboratory Mill, Atchison, Kansas, USA). El material es tamizado por un minuto a máxima velocidad en un tamizador Chopin Rotachoc (Rotachoc Laboratory Sifter, Villeneuve La Garenne, Francia) equipado con mallas 0,5 y 1 mm. La fracción gruesa fue la retenida en la malla de 1 mm y la fina es la que pasó por la de 0,5 mm. La relación grueso/fino fue la relación entre los pesos de estas dos fracciones.
- Dureza NIR*: La dureza NIR fue medida moliendo 50 g de granos limpios y sanos en un Molino de laboratorio Falling Number modelo 3600 (Suecia) en la posición más ajustada (posición 0). La reflectancia fue medida a 1680 nm en un instrumento Trebor 7700s, tomando como dureza a los primeros tres dígitos significativos distintos de cero de la lectura del instrumento.

Obtención de sémolas

Para determinar las propiedades de hidratación y de cocción del endospermo de cada cultivar, se obtuvieron las sémolas correspondientes. Para tal fin los granos fueron molidos de acuerdo a un diagrama de molienda ya desarrollado (8), utilizando un molino Vario- Miag (Alemania), un separador neumático (construido en este laboratorio) para separar las fracciones de germen y pericarpio y un tamiz plano

Rotostar marca Buhler (Alemania) para separar las fracciones de molienda. El diagrama asegura la obtención de sémolas con bajo contenido de materia grasa. La fracción de sémolas de tamaño de partículas comprendido entre 1114 y 420 micrones, fue seleccionada como la fracción representativa del endospermo. Esta fracción fue posteriormente molida en molino Cyclon Sample Mill (USA), con malla de 1 mm, para la determinación de la composición, de las propiedades de hidratación y de cocción.

La composición de las sémolas fue determinada de acuerdo a las técnicas de la AACC (20).

Propiedades de hidratación y de cocción

Poder de hinchamientos (PH) y solubilidad (S) en función de la temperatura

El poder de hinchamiento y la solubilidad fueron determinadas de acuerdo a la metodología propuesta por Unnikrishnan y Bhattacharya (21) con algunas modificaciones. Se dispersó 1 g de harina en 50ml de agua en un tubo, el cual se introdujo en un baño termostático donde se le mantuvo, agitando suavemente de manera intermitente, durante 30 min. a cada temperatura (50, 60, 70, 80, 90, 95 °C); luego se centrifugó a 2000 x g. Los sólidos solubles se obtuvieron por evaporación del sobrenadante en estufa a 105°C y el sólido residual hidratado (ó gel) se pesó para determinar el poder de hinchamiento. La solubilidad en agua fue calculada como g de sólidos solubles/100 g harina (bs), el poder de hinchamiento como:

g de gel/ (100g de harina (bs) – los sólidos solubles).

Características amilográficas

La curva amilográfica se realizó utilizando el Amilógrafo de Brabender (Alemania), con un cabezal de 700 cmg, en las siguientes condiciones: concentración de la suspensión 10% (base seca), calentamiento de la suspensión desde 29 °C hasta 95 °C a una velocidad de 1,5 °C/min, mantenimiento a 95 °C durante 20min. y enfriamiento hasta 50 °C a una velocidad de 1,5 °C/min. De la curva amilográfica se analizaron los siguientes puntos: temperatura de empastamiento (Te) y tres valores de consistencia, expresados como unidades Brabender (UB): al comienzo de la cocción (Ci95), al final de la cocción (Cf95) y en la etapa final de enfriamiento a 50 °C o retrogradación (R).

Análisis estadísticos

Todas las determinaciones fueron realizadas por duplicado y se utilizó el programa Statgraphics Plus 3.0 para realizar el ANOVA y determinar el grado de significación estadística de las diferencias entre muestras.

RESULTADOS

Evaluación de la dureza del endospermo y de la composición

La Tabla 1 presenta los valores de dureza correspondientes a los tres métodos utilizados. Estos valores son concordantes con las características de los endospermos correspondientes. Cuanto mayores sean los valores de NIR y de la relación G/F, y menor el índice de flotación, más duro será el genotipo. Las diferencias entre maíces dentados y aquellos con endospermo córneo fueron también establecidas por otros autores que utilizaron el índice de flotación y la relación de molienda (22, 23,14).

TABLA 1
Indicadores de dureza del endospermo de los distintos cultivares de maíz*

Cultivar	NIR	Flot. (%)	G/F
P1	614	2	5,00
P2	632	0	4,72
C1	462	21	4,41
C2	546	12	4,25
S1	438	72	3,73
S2	347	84	3,33
D	300	99	2,68

*Las diferencias entre los valores de los tres indicadores correspondientes a los siete cultivares son estadísticamente significativa (P<0,05)

La Tabla 2, muestra los valores de la composición de las sémolas utilizadas para las determinaciones de las propiedades de hidratación y de cocción.

TABLA 2
Composición de las sémolas correspondientes a los siete cultivares

Cultivar	Humedad (%)	Grasa (% db)	Cenizas (% db)	Proteína (% db)
D	12,20 ^{ab}	1,22 ^d	0,59 ^e	8,92 ^b
S2	12,00 ^a	0,90 ^a	0,43 ^b	8,42 ^a
S1	12,03 ^a	0,92 ^a	0,39 ^a	9,89 ^c
C2	12,30 ^b	1,09 ^b	0,55 ^d	9,97 ^c
C1	11,5 ^a	1,20 ^d	0,45 ^b	10,56 ^d
P2	12,5 ^b	1,20 ^d	0,51 ^c	12,20 ^e
P1	12,20 ^{ab}	1,14 ^c	0,56 ^d	12,49 ^f

a-f Letras iguales en una misma columna indican diferencias no significativas (P<0,05)

Propiedades de hidratación

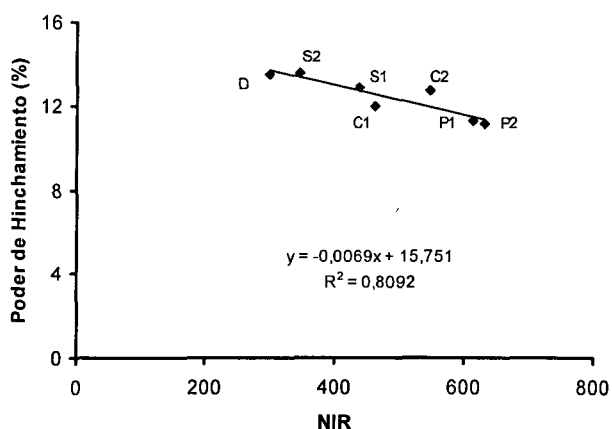
La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos para el poder de hinchamiento (PH) en función de la temperatura. Todos los cultivares presentan las cuatro etapas características para almidones de cereales. La primera con un hinchamiento limitado hasta 60°C, luego un incremento del PH hasta alrededor de los 80°C (región en que se produce la gelatinización), un leve incremento hasta 85°C y finalmente otra etapa de aumento del PH a partir de los 85°C. La Figura 1 muestra la relación entre la dureza NIR y el poder de hinchamiento (PH) a 95°C.

TABLA 3
Poder de hinchamiento en función de la temperatura de las sémolas de los siete cultivares

Cultivar	Poder de Hinchamiento (%)							
	50 °C	55 °C	60 °C	70 °C	80 °C	85 °C	90 °C	95 °C
D	3,15 ^a	3,31 ^a	3,49 ^a	6,51 ^f	8,66 ^f	9,72 ^d	11,9 ^e	13,50 ^d
S2	3,16 ^a	3,32 ^a	3,57 ^{ab}	5,93 ^c	7,95 ^b	9,07 ^b	11,04 ^c	13,57 ^d
S1	3,24 ^b	3,44 ^c	3,65 ^b	6,11 ^d	8,23 ^c	9,19 ^c	11,31 ^d	12,90 ^b
C2	3,32 ^c	3,48 ^c	3,66 ^b	5,83 ^b	7,34 ^a	9,19 ^c	10,97 ^c	12,75 ^b
C1	3,22 ^b	3,38 ^b	3,54 ^a	5,47 ^a	7,37 ^a	8,35 ^a	10,16 ^a	12,00 ^c
P2	3,90 ^d	4,20 ^d	4,38 ^c	6,50 ^f	8,07 ^d	9,19 ^c	11,30 ^d	11,20 ^a
P1	3,82 ^c	4,22 ^c	4,42 ^c	6,23 ^c	7,64 ^c	8,42 ^a	10,58 ^b	11,30 ^a

a-f Letras iguales en una misma columna indican diferencias no significativas (P<0,05)

FIGURA 1
Relación entre poder de hinchamiento a 95°C y dureza NIR correspondientes a los siete cultivares



La Tabla 4 muestra los valores de solubilidad (S) para los siete cultivares, presentando las tendencias características de las curvas de solubilidad de harinas de cereales con contenido de amilosa normal (excluidos los waxy y los de muy alta amilosa).

TABLA 4
Solubilidad en función de la temperatura correspondiente a las sémolas de los siete cultivares

Cultivar	Solubilidad (%)							
	50 °C	55 °C	60 °C	70 °C	80 °C	85 °C	90 °C	95 °C
D	3,42 ^c	3,72 ^d	3,78 ^c	6,02 ^d	9,48 ^e	9,72 ^a	19,66 ^d	26,67 ^{bc}
S2	3,35 ^c	3,50 ^c	3,97 ^d	4,83 ^b	8,55 ^c	12,11 ^d	19,06 ^c	27,17 ^{cd}
S1	3,38 ^c	3,55 ^c	4,25 ^e	5,61 ^c	8,69 ^c	12,39 ^e	19,55 ^d	27,33 ^d
C1	3,05 ^b	3,15 ^b	3,20 ^b	4,55 ^a	7,58 ^a	10,58 ^b	16,80 ^a	26,83 ^{bcd}
C2	2,60 ^a	2,87 ^a	2,92 ^a	4,69 ^{ab}	8,14 ^b	11,28 ^c	17,47 ^b	26,50 ^b
P2	4,22 ^d	4,47 ^c	4,75 ^f	6,89 ^e	10,88 ^f	15,00 ^e	21,50 ^f	24,25 ^a
P1	4,16 ^d	4,52 ^c	4,81 ^f	6,11 ^d	9,30 ^d	13,25 ^f	20,30 ^e	24,47 ^a

a-f Letras iguales en una misma columna indican diferencias no significativas (P<0,05)

Propiedades de cocción

La Tabla 5 presenta los valores típicos de la curva amilográfica correspondientes a todos los genotipos y en la Figura 2, los amilogramas correspondientes. La temperatura de empastamiento (TE) indica el momento en que el hinchamiento de las partículas de harinas (como consecuencia de la gelatinización de los gránulos de almidón) es detectado por el instrumento. No se observa una relación clara entre esta temperatura y el poder de hinchamiento (PH) a la misma temperatura. La Figura 3 muestra la relación entre la dureza del endospermo y la retrogradación (R).

TABLA 5
Características amilográficas de las sémolas de los siete cultivares

Cultivar	TE (°C)	Ci95 (UB)	Cf95 (UB)	R (UB)
D	75,5 ^b	570 ^e	595 ^e	1800 ^d
S2	77,0 ^c	530 ^d	630 ^e	1910 ^e
S1	75,5 ^b	400 ^c	380 ^b	1400 ^c
C1	79,0 ^d	435 ^c	550 ^d	1370 ^c
C2	75,5 ^b	320 ^b	465 ^c	1280 ^b
P2	74,0 ^a	260 ^a	360 ^{ab}	930 ^a
P1	74,0 ^a	240 ^a	340 ^a	960 ^a

a-e Letras iguales en una misma columna indican diferencias no significativas (P<0,05)

TE: Temperatura de empastamiento; Ci95: Consistencia inicial a 95°C; Cf95: Consistencia final a 95°C; R: Retrogradación a 50°C

FIGURA 2
Curvas amilográficas correspondientes a las sémolas de los siete cultivares

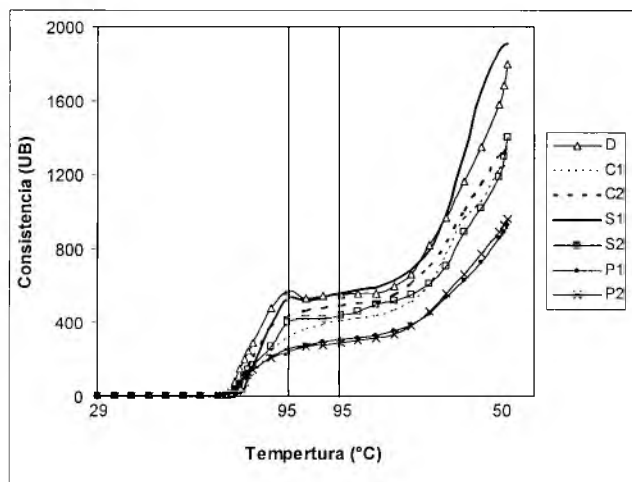
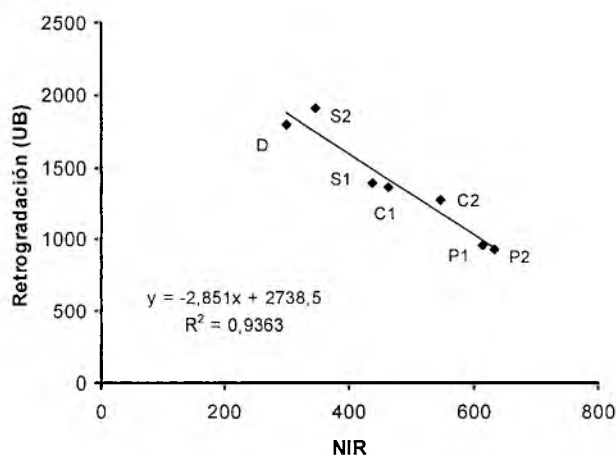


FIGURA 3
Relación entre retrogradación a 50°C y dureza NIR correspondiente a los siete cultivares



DISCUSION

Evaluación de la dureza del endospermo y de la composición

Con referencia a los valores obtenidos con cada método, Tabla 1, el Flot. sugiere que la dureza de S1 y S2 tiende a acercarse a la del D (el más blando), mientras que la dureza correspondiente a C1 y C2 se acercan a la de los más duros (P1 y P2). Por su parte el ordenamiento de los valores de NIR y Flot. se corresponden, por lo tanto si se toman estos dos indicadores de dureza surge el siguiente orden: P2 > P1 > C2 > C1 > S1 > S2 > D, pero si se toma G/F como índice de dureza el orden sería: P1 > P2 > C1 > C2 > S1 > S2 > D. Estas

contradicciones sugieren que NIR y Flot. serían más confiables como indicadores de dureza. No obstante el método de NIR posee la gran ventaja de la simpleza y rapidez lo que lo hace muy útil para los trabajos de mejoramiento genético.

Finalmente se puede destacar que estos tres indicadores están altamente correlacionados entre sí:

$$\text{Flot \%} = -0,312 \text{ NIR} + 190,4; r = -0,9468$$

$$\text{G/F} = 0,0061 \text{ NIR} + 1,127; r = 0,9449$$

Con referencia a los valores de la composición química observada en la Tabla 2, podemos decir que las diferencias en el contenido aceite se explican en parte por el hecho que el diagrama de molienda utilizado no incluyó una degerminadora adecuada para asegurar una separación de germen eficiente, no obstante estas diferencias se consideraron aceptables para analizar las propiedades de hidratación y de cocción. Por otra parte fueron claras las diferencias en proteínas, particularmente entre los duros y los blandos, no siendo significativas las diferencias entre S1 y C2. Con referencia al contenido de cenizas no se encontró ninguna relación con los otros factores.

Propiedades de hidratación

Poder de hinchamiento: Para algunos cultivares, el incremento del PH se atenuó a partir de 90°C, particularmente para los más duros (P1 y P2). El valor de PH más alto correspondió al D. Tendencias similares fueron obtenidas con variedades de arroz, para las cuales aquellas con mayor contenido de amilosa eran las que presentaron menor PH (24). Las dos etapas de hinchamiento que siguen a la primera, han sido atribuidas a la existencia de dos fuerzas de enlace de diferentes intensidades (25,26).

El ANOVA indicó lo siguiente: los valores de PH que mostraron los pisingallos fueron significativamente mayores (mayor facilidad de hinchamiento) a los de los demás cultivares a 50, 55 y 60°C. A partir de esta temperatura, el incremento del poder de hinchamiento de P2 y P1 con la temperatura disminuyó y los valores se confundieron con los de los demás cultivares. Así, a 70°C, el PH correspondiente a D fue igual al de P2, aunque el de P1 siguió siendo mayor que el de los demás. A 80°C, el mayor valor correspondió a D y los menores a C1 y C2. A 95°C los valores de los pisingallos fueron significativamente menores que los del resto. Este comportamiento indicaría que a baja temperatura los cultivares P1 y P2 hinchán más fácilmente que los otros, lo cual se adjudica al mayor contenido de fracciones de gliadinas hidrofílicas que poseen (8), pero una vez que el almidón comienza a gelatinizar otros factores afectan el hinchamiento. Uno de estos factores es la matriz proteica que restringe el hinchamiento de los gránulos de almidón; otro factor es la

proporción de partículas provenientes del endospermo harinoso (a menor dureza, mayor proporción de endospermo harinoso), en las cuales el almidón está rodeado por una matriz menos densa y por lo tanto el agua puede penetrar más fácilmente.

Respecto del cultivar D, se debe destacar que es el que menor PH mostró a bajas temperaturas, pero después de 60°C el aumento del PH con la temperatura fue superior al de los demás, alcanzando el mayor valor a 95°C. El comportamiento de este cultivar, indicaría que a baja temperatura, existe alguna restricción al hinchamiento, pero una vez iniciado el proceso de gelatinización, los gránulos de almidón pueden hinchar con mayor facilidad debido a una menor restricción de la matriz proteica.

Con respecto a los colorados (C1 y C2), sus valores se mantuvieron entre los del D y los pisingallos, aunque a bajas temperatura algunos valores no se diferenciaron de los correspondientes a los semidentados. A 95°C el valor de C9 fue significativamente menor al de los semidentados, mientras que el de C2 no se diferenció del de S1 (los valores de NIR de ambos tampoco difirieron demasiado). Por su parte los valores correspondientes a los semidentados confirmaron su procedencia genética, es decir sus características estuvieron comprendidas entre los colorados y el dentado.

Estos resultados indican que a baja temperatura, la mayor hidrofiliidad de las gliadinas de los pisingallos, es la responsable del mayor PH de estos genotipos, pero una vez que el proceso de gelatinización comienza, la restricción al hinchamiento que ejerce la matriz proteica es el factor que controla el proceso y el grado de restricción esta directamente relacionada con la dureza del endospermo.

De lo expuesto, se puede concluir que el poder de hinchamiento puede ser útil para caracterizar distintos tipos de maíces, particularmente cuando se analizan las pendientes del crecimiento del PH con la temperatura, aunque si no se realiza la curva completa, se sugiere utilizar 95°C para diferenciarlos.

De los tres indicadores de dureza del endospermo la dureza NIR fue la que mejor correlacionó con PH a 95°C (Figura 1).

Solubilidad: Como era de esperar, S aumentó con temperatura destacándose un incremento más elevado a partir de 80-85°C. Las diferencias entre las muestras en el rango de temperatura utilizado no parece estar relacionado con la dureza, aunque P1 y P2 mostraron los mayores valores de S prácticamente a todas las temperaturas excepto a 95°C. Este comportamiento se atribuye a la naturaleza más hidrofílicas de las proteínas de estos cultivares, lo cual favorecería la extracción de solutos (amilosa) de los gránulos de almidón. Se ha verificado que durante la primera etapa de la gelatinización, la amilosa es el principal componente en la fracción soluble y que la amilopeptina por su mayor tamaño sólo es parcialmente extraíble a alta temperatura (27). A 95°C

la amilopeptina será extraída con mayor dificultad en aquellos casos en que la matriz proteica ofrece la mayor restricción al hinchamiento. La complejidad del proceso de extracción de los solutos provenientes del almidón impiden establecer una relación clara entre la solubilidad y la dureza del endospermo.

Propiedades de cocción

Amilograma: La consistencia final a 95°C (Cf95) comparada con consistencia inicial a 95°C (Ci95) indica si se ha alcanzado el equilibrio entre el grado de hinchamiento de las partículas y grado de rotura. Se observó que los pisingallos poseyeron los menores valores de Ci95 y Cf95. Es evidente que estos genotipos son los más resistentes a la cocción y que el D es el menos resistente.

Solo los cultivares D y S1 (Figura 1) presentaron el pico amilográfico (aunque mínimo), lo cual está en correspondencia con la menor dureza del endospermo y por lo tanto la menor resistencia al hinchamiento. Los otros cultivares presentaron un continuo crecimiento de la consistencia, indicando que aun con la cocción a 95°C, las partículas no alcanzan el máximo de hinchamiento. Los valores de la consistencia están directamente relacionados con el poder de hinchamiento e inversamente relacionados con la dureza. La restricción al hinchamiento que provoca una menor consistencia durante la cocción también ha sido observada cuando se trabaja con sémolas de maíz colorado comercial (4).

Finalmente la consistencia de retrogradación a 50°C (R), está directamente relacionada con el valor de Cf95, este punto del amilograma representa la consistencia de la suspensión luego de cocida y enfriada. El valor de esta consistencia es función del tamaño final las partículas hidratadas y de la concentración de amilosa y amilopeptina dispersas. Es obvio que la complejidad de las interacciones producidas entre partículas y macromoléculas impide establecer relaciones simples entre los valores de consistencia amilográficas. Sin embargo de las distintas características amilográficas, R fue la que mejor correlacionó con la dureza del endospermo (Figura 3).

CONCLUSION

La dureza del endospermo, el poder de hinchamiento a 95°C y la consistencia de retrogradación a 50°C están altamente correlacionados.

La matriz proteica del endospermo controla el proceso de hinchamiento de las partículas de harina durante el proceso de cocción. Las harinas de maíces de endospermo más duros, hinchan menos que las provenientes de maíces blandos y sus dispersiones presentan menor consistencia. En los casos de alimentos que se consumen en forma de dispersiones cocidas,

se deberá seleccionar el maíz, de acuerdo a la dureza del endospermo de manera de poder controlar la densidad energética de la ración.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la ANCYP (PICT 09-06975 BID 1201/OC/AR) por la financiación de este trabajo.

REFERENCIAS

- Smith O, De Buckle TS, Sandoval AM and Gonzalez GE. Production of pre-cooked corn flours for arepa making using an extrusion cooker. *J Food Sci.* 1979; 44: 816-819.
- Rooney LW and Serna-Saldivar SO. Food uses of whole corn and dry-milled fractions. In: S.A. Watson and P.E. Ramstad (eds.), *Corn: Chemistry and Technology*. Minnesota: St. Paul 1987; pp. 399-429.
- González RJ, Torres RL, De Greef DM, Gordo NA Comparación entre harinas de maíz tipo duro, blanco y colorado, bajo similares condiciones de extrusión. *Rev. La Alimentación Latinoamericana* 1993; 199: 35-38.
- González RJ, Torres RL, De Greef DM. Comportamiento a la cocción de variedades de arroz y maíz utilizando el amilógrafo y dos diseños de extrusores. *Información Tecnológica* 1998; 9: 35-43.
- Harper JM. A Comparative Analysis of Single- and Twin-Screw Extruders. In: J.L. Kokini; C.T. Hao, and M.V. Karwe, editors. *Food Extrusion Science and Technology*. New York: Marcel Dekker. 1992; pp. 139-148.
- Batterman-Azcona SJ and Hamaker BR. Changes Occurring in Protein Body Structure and α -Zein During Corn flake Processing. *Cereal Chem.* 1998; 75: 217-221.
- Zhang W and Hosney RC. Factors Affecting Expansion of Corn Meals with Poor and Good Expansion Properties. *Cereal Chem.* 1998; 75: 639-643.
- Robutti JL, Borrás FS, González RJ, Torres RL and De Greef DM Endosperm properties and Extrusion cooking behavior of maize cultivars. *Food Science and Technology /LwT.* 2002; 35: 663-669.
- Bhatnagar S. and Hanna MA. Extrusion Processing Conditions for Amylose-Lipid Complexing. *Cereal Chem.* 1994b; 71: 587-593.
- Yamin FF, Svendsen L and White PJ. Thermal Properties of Corn Starch Extraction Intermediates by Differential Scanning Calorimetry. *Cereal Chem.* 1997; 74: 407-411.
- Yuan RC, Thompson DB and Boyer CD. Fine Structure of Amylopectin in Relation to Gelatinization and Retrogradation Behavior of Maize Starches from Three wx-Containing Genotypes in Two Inbred Lines. *Cereal Chem.* 1993; 70: 81-89.
- Wasserman BP, Lu-Fang Wen and Kin-Yu Chan. Molecular Transformations of Starch and Protein During Twin-Screw Extrusion Processing of Cornmeal. In: J.L. Kokini; C.T. Hao, and M.V. Karwe (eds.), *Food Extrusion Science and Technology*. New York: Marcel Dekker 1992; pp. 325-333.
- Dombrink-Kurtzman MA and Knutson CA. A Study of Maize Endosperm Hardness in Relation to Amylose Content and Susceptibility to Damage. *Cereal Chem.* 1997; 74: 776-780.
- Pratt RC, Paulis JW, Miller K, Nelsen T and Bietz JA. Association of Zein Classes with Maize Kernel Hardness. *Cereal Chem.* 1995; 72: 162-167.
- Alexander RJ. Corn Dry Milling: Processes, Products, and Applications. In: S.A. Watson and P.E. Ramstad (eds.), *Corn: Chemistry and Technology*. Minnesota: St. Paul. 1987; pp. 351-376.
- González RJ, De Greef DM, Torres RL, Borrás F, Robutti J. Effects of endosperm hardness and extrusion temperature on properties of products obtained with grits from two commercial maize cultivars. *Lebensm.-Wiss. U. Technol.* 2004; 37: 193-198.
- Matz S A. *Snack Food Technology*, 2^a ed. Connecticut: Avi Publ. Co., Inc. 1984.
- Whalen PJ. Detection of Differences in Corn Quality for Extrusion Processes by Rapid Visco Analyzer. *Cereal Food World* 1998; 43: 69-72.
- Robutti JL. Maize kernel hardness estimation in breeding by near-infrared transmission analysis. *Cereal Chem.* 1995; 72: 632-636.
- AACC (American Association of Cereal Chemist.). *Approved Methods*. Minnesota: St. Paul 1994.
- Unnikrishnan, K.R Y Bhattacharya, K.R. Swelling and Solubility Behaviour of Parboiled Rice Flour. *Food Technology* 1981; 16: 403-408.
- Pomeranz Y, Martin CR, Traylor DD and Lai FS. Corn hardness determination. *Cereal Chem.* 1984; 61: 147-150.
- Wu YV and Bergquist R.R. Relation of corn grain quality to yields of dry-milling products. *Cereal Chem.* 1991; 68: 542-544.
- González RJ, Torres RL and Añón MC. Comparison of rice and corn cooking characteristics before and after extrusion. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 2000; 9/50: 29-34.
- Leach HW, Mc Cowen LL, Schoch TJ. Structure of the Starch Granule. Swelling and Solubility Patterns of Various Starches. *Cereal Chem.* 1959; 36: 534-544.
- Sowbhagya CM, Ramesh BS and Alí SZ. Hydration, Swelling and Solubility Behavior of Rice in Relation to Other Physico-chemical Properties. *J. Sc. Food Agric.* 1994; 64: 1-7.
- Bank W and Greenwood CT. Fractionation of the starch granule and the fine structure of its components. In: *Starch and its components*. Edimburgh: Edimburgh Univ Press 1975; pp. 6-8.

Recibido: 08-06-2005

Aceptado: 07-11-2005