

Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz

Ana Cristina Billeb de Sinibaldi y Ricardo Bressani

Centro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones. Universidad del Valle de Guatemala

RESUMEN. En el presente estudio se analizaron once variedades de maíz cultivadas en la misma localidad y en el mismo año, para evaluar su calidad de procesamiento para harinas nixtamalizadas de maíz. Las muestras fueron analizadas por sus características físicas como contenido de humedad (promedio 13.3%), peso de 1000 granos (promedio 312.5 g), dureza a través de densidad (promedio 1.28 g/ml) y el índice de flotadores (promedio 9.5%). Estos datos indicaron que todas las variedades contienen un endospermo duro lo cual es preferido por la industria para la nixtamalización. Las once variedades estaban formadas en promedio de 5.7% de pericarpio, 11.5% de germen y 82.8% de endospermo, sugiriendo el porcentaje de pericarpio pérdidas bajas de sólidos por nixtamalización. La calidad de cocción de los maíces se evaluó utilizando un proceso de nixtamalización estandarizado. Se obtuvo una pérdida de materia seca promedio de 3.2% con un contenido de cáscara residual del 0.8%, la absorción de agua promedio 40.8% al finalizar la cocción y 46.9% al finalizar el remojo. La humedad del nixtamal fue de (41.5% al finalizar la cocción) y de (47.9% al finalizar el remojo por 12 horas). El tiempo de cocción y remojo para 50% de humedad en el grano varió entre 69 a 122 minutos en las once variedades, a una altura de 1500 m sobre el nivel del mar. El maíz nixtamalizado fue deshidratado y luego molido, no lográndose una harina con la granulometría igual a la de harinas industriales. Sin embargo los parámetros de calidad de la masa para tortilla fueron aceptables con un índice de penetración en harina hidratada de 178.67 mm, pH 7.97 índice de absorción de agua (WAI) 3.23 g.gel/g harina y el índice de solubilidad en agua (WSI) de 4.11%. Las harinas de todos los maíces dieron tortillas aceptables en cuanto a características físicas y sensoriales se refiere, sin embargo de las 11 variedades, 7 incluyendo el control, fueron superiores a las otras 4 variedades.

Palabras clave: Variedades de maíz, nixtamalización, calidad de cocción, tortilla.

INTRODUCCION

El maíz (*Zea mays*) ha sido y continúa siendo el cereal básico en la alimentación de grandes sectores de la población urbana y rural de varios países Latinoamericanos, principalmente México y varios países de Centro América. El grano de maíz se consume principalmente en forma de tortilla, alimento que se obtiene transformando el maíz crudo

SUMMARY. Nixtamalization cooking characteristics of 11 maize varieties. In the present study, 11 maize varieties were analyzed for their nixtamalization cooking quality. The 11 varieties were grown in the same locality and in the same year. The samples were evaluated for their physical characteristics, such as moisture content averaging 13.3%, average 1000 kernel weight (312.5 g), grain hardness through density (1.28 g/ml) and percent floaters (9.5%). These data indicated that all maize varieties had a hard endosperm which is recommended for the nixtamalization cooking process. The 11 varieties were formed on the average by 5.7% seed coat, 11.5% germ and 82.8% endosperm. The low seed coat content suggest a low solids loss during processing. Cooking quality evaluation was done by applying a standard lime cooking procedure to all varieties. An average solid loss of 3.2% was measured, with 0.8% of seed coat still attached to the endosperm. Water absorption at the end of cooking was 40.8% without soaking and 46.9% at the end of soaking. Nixtamal moisture was 47.9% after soaking and only 41.5% at the end of cooking. Cooking time with soaking for 50% moisture in the grain varied from 69 to 122 minutes at 1500 meters over sea level. The cooked grain was dried with hot air and ground however, the particle size obtained was not as that in commercial nixtamalized maize flour. However, the cooking quality parameters to make dough and tortillas were acceptable, with a penetration index of hydrated flour of 178.6 mm, pH 7.97, water absorption index (WAI) of 3.23 g gel/g flour and 4.11% water solubility index (WSI). All flours from the 11 varieties of maize gave acceptable tortillas as evaluated by physical characteristics and sensory quality. However of the 11 varieties 7 including the control were superior for nixtamalization cooking quality.

Key words: Maize varieties, nixtamalization, cooking quality, tortilla.

por cocción alcalina en un grano cocido y luego se transforma en masa la cual en porciones definidas se convierte en tortas que se cocinan sobre una superficie caliente (1,2). Aunque hoy todavía el grano de maíz se procesa a nivel del hogar, ya desde hace algunos años, se hizo disponible al consumidor harinas industrialmente nixtamalizadas, las cuales con agua, dan una masa para ser convertida en tortillas y otros alimentos de maíz nixtamalizado (2-4).

Las operaciones que se llevan a cabo para transformar el maíz en tortilla son ajustadas por el ama de casa de acuerdo a varios factores como la variedad de maíz, la dureza del grano, la humedad del maíz, el tiempo de almacenamiento y la integridad física del grano. Sin embargo para la industria la uniformidad de la materia prima es fundamental con respecto a la dureza, tamaño y calidad de grano, para mayor eficiencia en la transformación y menor pérdida de sólidos durante la cocción. Así mismo, el tipo de grano debe adaptarse a las operaciones de procesamiento para dar un producto que llene las características de funcionalidad y sabor que reclama el consumidor. Algunas características que la materia prima debe tener son: granos con endospermo duro, poco dentado, granos sanos, sin rajaduras e impurezas o dañados por hongos o insectos, granos de alta densidad, bajo porcentaje de flotadores, de color brillante y olote blanco, un pericarpio de fácil separación, con maduración completa y sin daños de secado, características que han sido evaluadas por varios investigadores y presentadas en revisiones del tema (2, 5- 7). El propósito del presente trabajo fue el de evaluar once variedades de maíz para su posible utilización en la industria de nixtamalización del grano en Guatemala.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron 11 diferentes variedades de maíz cultivadas en la costa sur occidental de Guatemala a una altura de 150m sobre el nivel del mar y cosechadas en Noviembre 1996. Se obtuvieron 5 lbs secas de grano de cada variedad, las cuales fueron (identificación/organización) HB-83 (ICTA), HR-93, HR-5, HR-15, HR-17 (Seminal), A-775, A-753° (ASGrow), HS-7G, HS-5G (Cristiani), P-3086 y P-3001 (Pioneer). La variedad HB-83 se utilizó como referencia, ya que es la que se siembra en la mayor extensión y es la de mayor uso en nixtamalización en Guatemala. Las otras variedades fueron seleccionadas por ser de grano duro aparentemente adecuadas para la nixtamalización.

En la primera fase del estudio, las variedades se caracterizaron por contenido de humedad, densidad del grano, peso de 1000 granos, porcentaje de flotadores y distribución de fracciones anatómicas. La humedad se estableció por deshidratación completa a 103° C por 6 horas mínimo. El peso de 1000 granos se estimó del número de granos en 50 gramos de maíz. La densidad poniendo 10 gramos de maíz previamente pesados en un cilindro con 50 cc de etanol y midiendo el aumento en volumen, expresando la densidad en g/ml. El porcentaje de flotadores se obtuvo poniendo 100 granos en un recipiente de vidrio conteniendo una solución de nitrato de sodio a una gravedad específica de 1.205, y midiendo el número de granos que flotaban. Todas estas pruebas se hicieron en triplicado. Para determinar el porcentaje de cáscara, germen y endospermo se humedecieron 10 granos (triplicado) por 1 hora y luego los granos secados por su humedad externa con papel

fueron disectados pesando cada fracción deshidratada.

La segunda fase consistió en evaluar la calidad de cocción de los maíces midiendo la facilidad de eliminación del pericarpio, la humedad del nixtamal, pérdidas de materia seca y absorción de agua en remojo (5). La cocción de las variedades para producir las respectivas harinas nixtamalizadas se llevó a cabo estandarizando el método de nixtamalización (6,16,17). El grano de maíz se ponía en una bolsa perforada de nylon (36 perforaciones/cm²) usando 200 ml de agua/50 g del maíz/0.6 g de cal y cocinando a 100°C por 50 minutos. El grano se agitaba suavemente durante la cocción. Luego el maíz cocido se dejó en remojo por 12 horas para luego sacarlo y lavarlo con agua corriente por 5 minutos usando un colador. La humedad externa del grano se secó con toallas de papel y luego se pesó antes de pasarlo por un molino de discos para su transformación a masa. Esta se deshidrató con aire a 70°C hasta 8% de humedad por un período de 4 horas para así obtener la harina nixtamalizada.

La facilidad de eliminación del pericarpio, pérdida de materia seca y humedad del nixtamal se llevó a cabo como fuera descrito arriba pero sin remojo en una muestra de 50 g de maíz. Después de la cocción la muestra se enfrió con agua corriente y se lavó por 4 minutos. Este procedimiento facilitó la remoción de la cal residual y del pericarpio. Luego con unas pinzas se removió la cáscara residual todavía pegada al endospermo que luego se deshidrató y pesó. El maíz cocido sin cáscara se deshidrató por 3 horas a 135°C, para calcular la pérdida de materia seca y la humedad del nixtamal.

Las once harinas se evaluaron por pH y humedad por el método de la AOAC (8), por el índice de absorción de agua (WAI) y solubilidad en agua (WSI) por los métodos de Anderson et al. (9,10).

La última fase fue la caracterización de la masa por rendimiento y el índice de penetración, que se midió con el penetrómetro Universal (Precision Scientific). Esta última fase también incluyó la preparación de las tortillas con evaluaciones de humedad de la tortilla, el rendimiento, su calidad de cocción, o sea la formación de la bolsa y estructura de la orilla y finalmente una prueba sensorial limitada que se describirá posteriormente. Los datos fueron obtenidos en triplicado y se calcularon desviaciones estándar, análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas de Tukey por medio del programa SPSS/PC (The Statistical Package for IBM PC).

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización del grano

Los resultados de humedad del grano descritos en la Tabla 1 indican una variabilidad de 12.98 ±0.26% (HR-5) a 13.97±1.23% (HR-93) con un valor promedio de 13.27±0.28%, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre variedades, de acuerdo al análisis de varianza.

TABLA 1
Algunas características de las once variedades de maíz

Variedad	Peso de 1 000 granos, g	Densidad, g/ml	Flotadores, %	Humedad del grano, %
HB-83	307.53±4.49 def	1.29±0.01	4.33±0.58 a	13.11±0.12
HR-93	301.45±9.49 ef	1.28±0.01	8.00±1.73 b	13.97±1.23
HR-5	272.38±7.34 gh	1.27±0.01	18.33±2.31 f	12.98±0.26
HR-15	249.90±2.83 h	1.28±0.02	11.67±1.53 d	13.07±0.30
HR-17	292.31±1.54 fg	1.28±0.02	9.00±1.00 c	13.27±0.28
A-775	319.99±5.52 cde	1.31±0.03	6.00±1.73 a	13.18±0.78
A-7530	335.26±10.08 bc	1.29±0.02	16.00±1.00 f	13.06±0.10
HS-7G	308.72±5.17 def	1.27±0.01	15.00±1.00 e	13.14±0.23
P-3086	331.03±3.71 bcd	1.27±0.01	3.67±1.53 a	13.52±0.13
P-3001	354.79±9.12 ab	1.29±0.01	2.67±1.15 a	13.32±0.15
HS-5G	364.10±10.02 a	1.29±0.03	9.67±1.15 a	13.36±0.15
Sig. Estadístico entre variedades	S	NS	S	NS

Una característica del grano que es muy importante en nixtamalización es la dureza, que es un indicador de la composición del endospermo establecido por la densidad del grano y el índice de flotadores.

Los valores de densidad tienen una variabilidad entre 1.27±0.01 g/ml (HR-5, HS-7G, P-3086) y 1.31±0.03 g/ml (A-775), con un valor promedio de 1.28±0.016 g/ml, indicando que todos los granos son duros, y estadísticamente no hay diferencias entre ellos. Por esta razón se utilizó también el índice de flotadores, que da resultados más específicos diferenciando claramente entre un grano suave (arriba de 80%), uno semi duro (40-80%), un duro (25-48%) y uno muy duro (abajo de 25%). Los resultados de la Tabla 1 confirman que todos los granos son muy duros, con un rango de 2.67±1.15% (P-3001) a 18.33±2.31% (HR-5), y un promedio de 9.49±5.27%. Las diferencias entre variedades de maíz fueron estadísticamente significativas. Los granos de las variedades más duras en base a este contenido son P-3001, P-3086, HB-83 y A-775.

El peso de 1,000 granos, sugiere el tamaño del grano de la variedad. Un peso de 1,000 granos bajo corresponde a una muestra con gran porcentaje de granos pequeños, y por el contrario un peso alto, se obtiene cuando los granos son grandes. Los resultados obtenidos para las 11 variedades están entre 272.38±7.34 g (HR-15) y 364.10±10.02 g (HS-5G), con un promedio de 312.50±33.87 g, prefiriéndose para procesamiento las variedades de peso mayor. Las diferencias entre variedades fueron significativas estadísticamente.

La Tabla 2 presenta los resultados de la determinación de la composición anatómica (morfológica) porcentual de las tres partes principales del grano: el pericarpio, el germen y el endospermo. Estos fueron deshidratados y pesados para luego calcular sus porcentajes en base seca. Debe aclararse

que el "tip cap" o base del grano que lo une a la mazorca, se consideró parte del germen al separar los componentes. La variabilidad en el porcentaje de cáscara fue de 5.41±0.39% (HR-17) a 7.08±1.51% (P-3086) con un promedio de 5.72±0.51%. Debido a que el pericarpio o cáscara del grano se elimina con la cocción alcalina y con el lavado del nixtamal, se desea que esta fracción sea la menor posible en la estructura del grano, disminuyendo las pérdidas de sólidos durante la cocción. Al analizar estadísticamente los resultados por las pruebas de Tukey y análisis de varianza, se pudo comprobar que no hay diferencias significativas entre las muestras, por lo que éste no debe ser un factor influyendo al determinar la mejor variedad para este proceso. Con respecto al germen, la variabilidad fue de 9.63±0.7% (HB-83) a 13.12±0.62% (A-7530) con un promedio de 11.46±1.12%, y del endospermo fue de 81.52±1.01% (P-3086) a 84.85±0.58% (HB-83) con promedio de 82.81±1.41%. Las diferencias entre variedades fueron estadísticamente significativas tanto para el contenido de germen como de endospermo.

Un contenido bajo de germen tendría aspectos tanto positivos como negativos en las harinas. Aspectos positivos podrían ser una menor posibilidad de rancidez oxidativa debido a que es en el germen donde se encuentra la mayor parte del aceite del grano y un menor contenido de ácido fítico, componente que disminuye la biodisponibilidad del hierro. En general el germen contiene alrededor del 90% del ácido fítico en el grano de maíz (11). Los aspectos negativos de un bajo contenido de germen serían un menor contenido de energía y menor calidad proteica, pues además de su elevada proporción de lípidos, de hecho el germen contribuye a la calidad proteínica del grano de maíz (12).

Para la elaboración de la harina nixtamalizada, la parte más importante del grano es el endospermo, por lo que se prefiere a las variedades con más alto porcentaje de endospermo y por consiguiente aquéllos de porcentaje de germen bajo. Las variedades HB-83, HR-93, HR-5, HS-7G y HS-5G, son las que contienen un endospermo mayor que las otras.

TABLA 2
Distribución de cáscara, germen y endospermo en las variedades de maíz

Variedad	Cáscara, %	Germen, %	Endospermo, %
HB-83	5.51±0.17	9.63±0.70 c	84.85±0.58 a
HR-93	5.46±0.60	10.08±0.98 bc	84.46±1.53 ab
HR-5	5.43±0.04	10.38±0.55 bc	84.19±0.57 abc
HR-15	5.60±0.54	11.48±1.25 abc	82.91±0.74 abcde
HR-17	5.41±0.39	12.57±0.33 ab	82.02±0.07 cde
A-775	5.45±0.40	12.04±0.32 abc	82.51±0.23 bcde
A-7530	5.81±0.46	13.12±0.62 a	80.90±0.60 e
HS-7G	5.46±0.63	11.44±1.16 abc	83.10±1.03 abcde
P-3086	7.08±1.51	12.42±0.60 ab	80.56±1.01 de
P-3001	6.26±0.39	11.90±0.73 abc	81.84±0.46 de
HS-5G	5.50±0.73	10.94±0.52 abc	83.56±0.64 abcd
Sig. estadístico entre variedades	NS	S	S

Calidad de cocción

Para evaluar la calidad de cocción se llevó a cabo la nixtamalización estandarizada, utilizando muestras de maíz limpio, libre de granos quebrados/picados, con 1.2% de cal, 200 ml de agua por cada 50 g de maíz y 50 minutos de cocción, a temperatura constante de 96°C, de tal manera que la única variable fue la variedad de maíz. Después de la cocción el maíz se quedó en remojo por 12 horas y luego se lavo con agua, se transformo en masa y se deshidrató y se molió. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

Un factor muy importante fue la pérdida de sólidos, que incluye el pericarpio removido por la cocción alcalina y materia seca del endospermo y germen. Durante la cocción alcalina, las pérdidas de materia seca se ven directamente influenciadas por la estructura del endospermo, ya que teóricamente un grano suave dará mayor porcentaje de pérdidas que un grano duro. Sin embargo, entre las muestras estudiadas se puede observar que la variedad HB-83, a pesar de pertenecer al grupo de muestras muy duras es la que tuvo el mayor porcentaje de pérdidas en la cocción. El rango fue de 4.86±0.13% (HB-83) a 2.18±1.33% (HS-5G) con un promedio de 3.22±0.85%. Las diferencias no fueron estadísticamente significativas, y en todo caso son pérdidas relativamente bajas.

TABLA 3
Calidad de cocción de las variedades de maíz

Variedad	Pérdida materia seca %	Cáscara residual	Humedad nixtamal		Absorción de agua	
			Cocido %	Remojado %	Cocido %	Remojado %
HB-83	4.86 ±0.13	0.97 ±0.17	41.63 ±0.49 ab	44.78 ±3.51 b	40.08 ±0.56 ab	44.86 ±0.95 e
HR-93	3.71 ±0.48	0.72 ±0.18	41.42 ±1.46 ab	45.97 ±0.96 ab	41.31 ±1.01 ab	46.88 ±0.86 cde
HR-5	2.56 +1.42	0.68 ±0.24	41.97 ±0.30 ab	49.85 ±0.62 a	41.56 ±0.95 ab	49.34 ±0.09 ab
HR-15	2.59 +1.14	0.68 ±0.54	42.57 ±0.87 ab	49.39 ±0.55 a	42.14 ±0.43 a	49.60 ±0.60 a
HR-17	2.19 +0.29	0.80 ±0.14	41.36 ±0.18 ab	48.89 ±1.16 ab	41.70 ±0.36 ab	47.76 ±0.87 abcd
A-775	3.34 +0.21	0.77 ±0.17	42.47 ±0.36 ab	48.81 ±0.68 ab	40.94 ±0.48 ab	47.10 ±0.70 bcde
A-7530	3.88 +0.59	0.99 ±0.22	40.94 ±1.04 ab	47.13 ±0.18 ab	40.06 ±1.23 ab	45.70 ±0.40 de
HS-7G	4.13 +0.52	0.59 ±0.28	43.37 ±0.41 a	49.15 ±1.06 ab	40.81 ±0.14 ab	48.26 ±0.57 abc
P-3086	2.92 +0.20	1.11 ±0.02	40.37 ±0.93 b	47.62 ±0.26 ab	40.71 ±0.47 ab	45.53 ±0.54 de
P-3001	3.05 +0.13	0.99 ±0.15	40.47 ±0.17 b	47.94 ±1.24 ab	39.77 ±0.51 ab	45.79 ±0.78 de
HS-5G	2.18 +1.33	0.74 ±0.05	40.29 ±0.75 b	47.29 ±0.84 ab	39.59 ±0.47 b	45.66 ±0.50 de
Sig. estadístico entre variedades	NS	NS	S	S	S	S

La materia seca perdida como porcentaje del pericarpio varió entre 39.6% (HS-5G) a 88.2% (HB-83). Esto se interpretó como que la mayor parte de las variedades tienen un pericarpio difícil de separar, lo cual es una desventaja. Por otro lado, la variedad HB-83 fue la que perdió la mayor parte del pericarpio.

El porcentaje de cáscara residual se determinó separando manualmente del nixtamal (grano cocido con cal) todo residuo de pericarpio remanente luego del lavado. El pericarpio residual se colocó en un platillo Petri y se deshidrató. La cáscara residual se calculó como porcentaje del peso seco del grano cocido. Los valores se encuentran entre $0.59 \pm 0.28\%$ (HS-7G) y $1.11 \pm 0.02\%$ (P-3086), con un promedio de $0.82 \pm 0.16\%$, y estadísticamente, las diferencias no son significativas entre muestras.

La presencia de pericarpio residual es importante pues afecta tanto el color de la masa como su textura y propiedades de procesamiento. El pericarpio residual estaba significativamente correlacionado con el pericarpio en el grano ($r=0.45\%^{**}$)

La forma del grano influye grandemente en la eliminación del pericarpio, ya que los granos redondos y los pequeños conservaron en su mayoría todo el pericarpio luego del lavado, lo que se relaciona con el peso de 1,000 granos, ya que las muestras de peso menor, tienen mayor porcentaje de granos pequeños. Los granos pequeños y redondos provienen de un extremo de la mazorca. El productor de maíz podría eliminarlos a través de un sistema de clasificación por tamaño si esto se tradujera en un mejor precio para él. En todo caso, una característica del grano para nixtamalización sería que el tamaño fuera uniforme.

El tip cap influyó en las pérdidas de materia seca debido a que en algunos granos se desprende con mayor facilidad durante el lavado y en el pericarpio residual, pues es en esta parte donde queda adherida la cáscara que no se elimina con el lavado.

La humedad del nixtamal se calculó al terminar la cocción, y después de 12 horas de remojo. Los datos para el primer caso varían entre $40.29 \pm 0.75\%$ (HS-5G) y $43.37 \pm 0.41\%$ (HS-7G) con un valor promedio de $41.53 \pm 0.99\%$ y para las muestras remojadas entre $44.78\% \pm 3.51$ (HB-83) y $49.85 \pm 0.62\%$ (HR-5), con promedio de $47.89 \pm 1.55\%$. Las diferencias entre variedades para ambos casos fueron estadísticamente significativas. Este es un factor muy importante pues indica el grado de cocción del grano, y las variedades seleccionadas son: para el nixtamal cocido HS-7G, HR-15, A-775 y HR-5, y para el remojado HR-5, HR-15, HS-7G y HR-17.

Se calculó el porcentaje de absorción de agua tanto para el nixtamal al finalizar la cocción, como para el nixtamal después de remojado durante 12 horas en el agua de cocción a temperatura ambiente. Según Serna-Saldívar y col. (6), la rápida absorción de agua está directamente relacionada al endospermo suave, mientras que si el grano tiene un endospermo duro, la

absorción de agua será más lenta. La variabilidad en porcentaje de absorción de agua al finalizar la cocción fue de $39.59 \pm 0.47\%$ (HS-5G) a $42.14 \pm 0.43\%$ (HR-15) con un promedio de $40.79 \pm 0.84\%$, y para las muestras después del remojo 12 horas fue de $44.86 \pm 0.95\%$ (HB-83) a $49.60 \pm 0.60\%$ (HR-15), con un promedio de $46.95 \pm 1.62\%$.

El porcentaje deseable de agua en el nixtamal, después de la cocción y remojo está entre 48% a 50%. Los datos de este estudio dieron valores un poco más bajos, a pesar de que algunas variedades contenían agua entre ese rango.

En otro experimento, muestras de grano de maíz crudo fue cocido por 0, 15, 30, 45, 60 y 75 minutos y luego dejado en reposo por 14 horas para determinar el tiempo de cocción a la altura de 1500 m sobre el nivel del mar. Luego de las 14 horas de remojo, el grano fue lavado y secado. Con los datos obtenidos se pudo calcular la regresión entre humedad en el grano y tiempo de cocción, ecuaciones que se presentan en la Tabla 4. Con ellos se estimó el tiempo de cocción requerido por cada variedad para llegar a contener 50% de agua. Como se puede observar, la variedad más suave fue la HS-7G con 69 minutos de cocción y la más dura fue la P-3001 con 122 minutos de cocción. El tiempo de cocción estaba positivamente correlacionado con el peso de 1000 granos, con una $r=0.732$ (0.05), o sea que granos grandes toman más tiempo para su cocción. Las variedades con tiempos largos de hidratación también son lentos en permitir que el almidón se gelatinice lo cual afecta la calidad de la tortilla (2). Un aspecto importante a considerar en la cocción de cereales y leguminosas es el efecto de la altura sobre el nivel del mar, que puede influir sobre esta característica, requiriendo mayor tiempo de cocción (13).

TABLA 4
Regresión entre el tiempo de cocción y la absorción de agua después de 14 horas de remojo (1 500 m.s.n.mar)

Variedad	Ecuación	Cocción (min.) para 50% absorción de agua
HB-83	$Y=0.1636X+36.579$	82
HR-93	$Y=0.1721X+36.470$	79
HR-5	$Y=0.1870X+35.589$	77
HR-15	$Y=0.2164X+32.901$	79
HR-17	$Y=0.1844X+35.431$	79
A-775	$Y=0.1540X+37.289$	79
A-7530	$Y=0.1174X+38.120$	101
HS-7G	$Y=0.1791X+37.644$	69
P-3086	$Y=0.1503X+34.919$	100
P-3001	$Y=0.1546X+31.178$	122
HS-5G	$Y=0.1585X+34.461$	98

X = tiempo de cocción; Y = absorción de agua

Evaluación de la harina nixtamalizada

La elaboración de harina nixtamalizada de cada variedad se obtuvo preparando la masa por el método de nixtamalización ya descrito, utilizando un molino de granos en la molienda y un deshidratador de convección forzada para secarla.

Se midió el pH de las harinas, que aunque depende de la cantidad de cal agregada en la cocción y de la lavada después de cocción y no de la variedad de maíz, se debe tomar en cuenta por ser un indicador del grado de lavado del maíz y que influye en su estabilidad durante el almacenaje. Los resultados de pH en el Cuadro 5 varían entre 7.70±0.44 (HR-5) y 8.21±0.30 (A-775) con un valor promedio de 7.97±0.19, sin diferencias estadísticas significativas. Se considera que son valores altos, ya que los normales están alrededor de 7.0.

La humedad final promedio de las harinas es de 4.88±1.37% con una variabilidad de 2.39±1.19% (HR-93) a 7.06±0.51% (P3001). Las diferencias no son estadísticamente significativas. Como se puede observar en la Tabla 5, estas humedades son bastante bajas, comparadas con las harinas comerciales que están entre 10-12% de agua (14,15). Este factor influye grandemente en el tiempo necesario para la hidratación.

TABLA 5
Análisis de la harina

Variedad	Ph	Humedad harina%	Indice absorción de agua g gel/g harina	Indice solubilidad en agua %
HB-83	8.05±0.54	3.62±4.25	3.29±0.09	4.05±0.10 ab
HR-93	7.68±0.25	2.39±1.19	3.21±0.14	3.91±0.20 ab
HR-5	7.70±0.44	4.44±1.36	3.19±0.20	3.83±0.38 ab
HR-15	7.86±0.28	3.89±1.26	3.53±0.19	3.22±0.10 b
HR-17	8.06±0.74	6.05±1.08	3.25±0.12	4.36±0.22 ab
A-775	8.21±0.30	5.45±0.58	3.24±0.15	4.47±0.68 a
A-7530	7.96±0.43	4.76±0.93	3.06±0.07	4.72±0.32 a
HS-7G	8.19±0.44	3.98±0.53	3.22±0.18	4.28±0.31 ab
P-3086	7.88±0.08	5.93±0.67	3.21±0.04	4.19±0.22 ab
P-3001	7.94±0.36	7.06±0.51	3.13±0.15	4.16±0.26 ab
HS-5G	8.19±0.45	6.08±0.69	3.19±0.19	4.01±0.44 ab
Sig. estadístico entre variedades	NS	NS	NS	S

Además, se midió el índice de absorción de agua y de sólidos solubles, que están muy relacionados con el rendimiento de tortillas al hidratar la harina para elaborar la masa. Los resultados en la Tabla 5 obtenidos varían entre 3.06±0.07 a 3.53±0.19 g gel/g harina, para el índice de absorción de agua con un promedio de 3.23±4.14 y entre 3.22±0.10% (HR-15) y 4.72±0.32% (A-7530) con una media de 4.11±0.39%, para el índice de sólidos solubles. Estos resultados se encuentran dentro del rango normal, aunque

son algo menores que las de las harinas industriales. Los cálculos estadísticos muestran que hay diferencias significativas entre ellas en el índice de sólidos solubles, pero no en el índice de absorción de agua.

Análisis de la masa

La granulometría influye mucho en los resultados de estos análisis. Sin embargo se considera que para los fines de comparación entre las muestras de este estudio, no afecta significativamente ya que todas las muestras fueron de la misma granulometría.

En las pruebas realizadas para evaluar índice de penetración, rendimiento, y elaboración de las tortillas se debió calcular el tiempo mínimo de hidratación o absorción de agua por la baja humedad en las harinas, dejando que las muestras se hidrataran completamente antes de evaluarlas, como se explicó anteriormente.

Por este motivo, como se puede observar en la Tabla 6, los resultados son muy variables, y la desviación estándar es grande. A pesar de ello no hay diferencias estadísticamente significativas entre las muestras, y en general se aproximan mucho a los valores deseados.

TABLA 6

Algunas características físicas de la masa de las variedades de maíz

Variedad	Rendimiento g agua/100 g harina		Penetrómetro X 0.1 mm
	Teórico	Práctico	
HB-83	111.79	105.94	181.67
	±10.47 ab	±10.52 ab	±7.64
HR-93	109.33	106.03	176.67
	±2.31 ab	±0.89 ab	±30.55
HR-5	122.36	118.96	171.67
	±2.09 ab	±3.30 ab	±10.41
HR-15	125.33	120.12	170.00
	±4.62 ab	±4.10 ab	±10.00
HR-17	128.00	123.13	190.00
	±0.00 a	±0.79 a	±17.32
A-775	126.00	121.77	181.67
	±2.00 ab	±1.86 ab	±7.64
A-7530	121.33	117.71	195.00
	±11.55 ab	±11.88 ab	±25.00
HS-7G	121.33	115.68	175.00
	±2.31 ab	±2.77 ab	±18.03
P-3086	110.67	104.92	185.00
	±4.62 ab	±2.54 ab	±8.66
P-3001	105.33	102.04	162.67
	±4.62 b	±4.20 b	±6.43
HS-5G	116.67	112.01	176.00
	±7.57 ab	±0.83 ab	±8.54
Valores de referencia	>128.00	>128.00	180
Sig. estadístico entre variedades	S	S	NS

Se obtuvo un rendimiento teórico promedio de 118.01 ± 7.67 g agua/100 g harina, variando entre 105.33 ± 4.62 (HR-17) y 128.00 ± 0.00 (P-3001), mientras que para el rendimiento práctico los valores se encuentran entre 102.04 ± 4.20 (P-3001) y 123.13 ± 0.79 (HR-17) con un promedio de 113.48 ± 7.59 . Estos rendimientos no son totalmente aplicables en la elaboración de la tortilla, ya que para la realización de las pruebas se necesita que pueda formar un bloque duro, con menor cantidad de agua. Como se puede observar, el rendimiento teórico (por volumen de agua) no coincide con el práctico (por peso). Esto se debe a que las masas fueron elaboradas en una batidora y luego amasadas, quedando residuos en el recipiente y superficie donde se amasó, generando pérdidas.

El índice de penetración sirven para conocer que tan consistente es la masa, y qué tan elástica, suave o dura quedará la tortilla. Para el índice de penetración los valores se encuentran entre 162.67 ± 6.43 mm (P-3001) y 195.0 ± 25.0 mm (A-7530) con un promedio de 178.67 ± 9.26 mm, estando todos muy cercanos al valor que se considera óptimo de 180. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas únicamente para los rendimientos, mientras que no hubo para la penetración.

Elaboración de las tortillas

La humedad de la tortilla (Tabla 7) varió entre $42.40 \pm 1.91\%$ (P-3001) y $48.96 \pm 0.71\%$ (A-775) con un promedio de $46.86 \pm 1.89\%$. Estos son valores normales para la tortilla.

TABLA 7
Humedad, rendimiento y rolabilidad de la tortilla

Muestra	Humedad tortilla %	Rendimiento g agua/100 g harina	Rolabilidad *	Formación de bolsa **	Estructura orilla **
HB-83	47.54 ± 0.89 ab	153.33 ± 14.43 a	2.33 ± 0.58	1	2
HR-93	46.61 ± 0.42 ab	175.00 ± 20.00 a	1.67 ± 1.15	2	1
HR-5	47.54 ± 0.61 ab	151.67 ± 23.09 a	2.67 ± 1.53	1.5	1.5
HR-15	48.20 ± 1.30 ab	180.00 ± 22.91 a	3.00 ± 0.00	2.5	2
HR-17	48.16 ± 1.13 a	170.00 ± 18.03 a	1.67 ± 0.58	2	1.5
A-775	48.96 ± 0.71 a	175.00 ± 10.00 a	1.33 ± 0.58	1.5	1
A-7530	45.16 ± 0.51 ab	155.00 ± 5.00 a	1.67 ± 0.58	1.5	2
HS-7G	48.52 ± 1.01 a	160.00 ± 10.00 a	2.00 ± 0.00	1	1
P-3086	46.67 ± 1.85 ab	150.00 ± 0.00 a	1.67 ± 0.58	1	1
P-3001	42.40 ± 1.91 b	131.67 ± 5.77 a	3.00 ± 0.00	2	1.5
HS-5G	45.71 ± 3.55 ab	150.00 ± 0.00 a	1.33 ± 0.58	1.5	1.5
Sig. estadístico entre variedades	S	NS	NS	-	-

*Ver texto para

**Bolsa – 1 en toda la cara
2 en una parte de la cara
3 no se formó

**Orilla – 1 lisa
2 irregular

El rendimiento (Tabla 7) con un valor promedio de 159.70 ± 14.31 g agua/100 g harina, en el rango de 180.00 ± 22.91 g agua/100 g harina (HR-15) a 131.67 ± 5.77 g agua/100 g harina (P-3001). Este rendimiento es mayor que el obtenido en los resultados de la sección anterior, debido a que se le agregó más agua a la harina obteniendo una masa más suave. Además se le sumó 25 ml, aproximadamente la cantidad de agua que la tortillera agregó a todas las masas después de ser pesadas cuando amasaba para formar las tortillas.

En esta última fase se elaboraron las tortillas a partir de

las harinas y se realizaron las pruebas de aceptación, así como de calidad de la tortilla. Las pruebas realizadas son en parte cualitativas y cuantitativas. Se trató de eliminar el problema de granulometría volviendo a pasar las muestras por el molino de granos antes de hidratarlas, dando origen a una harina más fina. Para evitar que una tortilla tenga variaciones en el grosor, como sucede cuando se forman manualmente, se elaboraron utilizando una máquina que aplanar la masa y deja la superficie lisa.

La evaluación de rolabilidad se llevó a cabo usando la siguiente escala:

1. No hay rajaduras

2. Signo de rajaduras pero no de rompimiento
3. Rajaduras y rompimiento son obvios en una cara
4. Rajaduras y rompimiento son obvios en las dos caras
5. No se puede enrollar

La rolabilidad se midió con las tortillas recién hechas, que se mantuvieron caliente por estar envueltas en un paño, dejando que primero se suavizaran un poco con el calor y vapor que se forma entre ellas, por unos cinco minutos y utilizando la escala anterior. Los resultados se vieron afectados por diferencias en el grosor de las tortillas, que aunque eran similares, en la mayor parte de los casos sobrepasaban los 2 mm que indica la metodología. En todo caso, el porcentaje de rolabilidad fue aceptable.

Entre las pruebas cualitativas que se realizaron (Tabla 7) están: formación de bolsa (indicativo del buen cocimiento de la tortilla y de su buena calidad) y se da cuando la tortilla se infla al estarse cocinando en el comal, quedándole una capa pegada de la orilla, pero no del centro, conocida como "bolsa".

Una masa de buena calidad da una orilla lisa, mientras que si está muy seca o le falta cocimiento dará una orilla dispareja. Los datos obtenidos fueron aceptables, con sólo una variedad (HR-15) que no formó bolsa y con orilla irregular. La variedad HR-17 y P-3001 dieron tortillas con poca bolsa y orilla irregular.

La evaluación sensorial realizada fue una prueba de preferencia, en la que los panelistas debían seleccionar la que más les gustaba de las tres muestras que se les presentaron, agrupando las once variedades de tres en tres, utilizando una muestra elaborada por la misma persona con masa recién hecha, como control. Los resultados no fueron analizados estadísticamente por no ser representativos.

De la primera serie de pruebas en las que se evaluaron en el orden que aparecen, se clasificaron las muestras en tres grupos: las mejores (elegidas por un mayor número de personas) que son HB-83, A-775 y P-3086, intermedias (elegidas por algunos) que fueron HR-5, HR-15, A-7530, HS-7G, P-3001 y HS-5G seleccionadas las 6 el mismo número de veces y las que no fueron seleccionadas HR-93 y HR-17. A pesar de que se encontraron ciertas preferencias por algunos maíces en estas pruebas sensoriales, todas fueron consideradas agradables.

Selección de variedades

Durante los últimos años se ha iniciado el interés en desarrollar materia prima industrial que contribuya mejor a la productividad de la industria en donde se utiliza. La selección se logra por fitomejoramiento y por biotecnología siendo necesario disponer de características deseables en la materia prima para la productividad industrial y así poder incorporarlas.

El propósito del presente estudio fue el de evaluar el

comportamiento de un grupo de variedades de maíz al proceso de nixtamalización y a la elaboración de la tortilla, con el fin de poder seleccionar las mejores variedades para esos fines. De acuerdo a los datos obtenidos, la selección puede efectuarse en los materiales a) antes de la cocción, b) en el comportamiento durante la cocción, c) la calidad de las harinas precocidas y finalmente, d) en la transformación de la masa (harina húmeda) en tortilla. En el punto a) se podría utilizar un alto peso por 1000 granos, un porcentaje de flotadores entre 10-20%, alto contenido de endospermo y bajo contenido de cascara. Para el punto b) se tendría como característica discriminadora un corto tiempo de cocción para una humedad definida (50%) y baja pérdida de sólidos. En el punto c), los parámetros a seleccionar sería una alta absorción de agua y bajo sólidos solubles y en el punto d) la estructura de la tortilla, su funcionalidad y aceptabilidad. Sin embargo, debido a la gran similitud entre las once variedades de maíz de endospermo duro y a la poca sensibilidad de los métodos utilizados para evaluarlas, fue difícil el proceso de selección. Sin embargo, en base al número de veces que la variedad aparecía en los parámetros arriba indicados las mejores podrían ser HS-5G, HR-5, HR-17, HB-83, HS-7G, HR-15 y A-775.

REFERENCIAS

1. Bressani R. Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. *Food Reviews International* 1990;6: 225-264.
2. Serna-Saldívar SO, MH Gómez and LW Rooney. Technology, chemistry and nutritional value of alkaline-cooked corn products. *Advances in Cereal Science and Technology* 1990; 10:243-307.
3. Bedolla S and L Rooney. Characteristics of US and Mexican Instant Maize Flour for Tortilla and Snack preparation. *Cereal Foods World* 1984;29:732-735.
4. Gómez MH, LW Rooney, RD Waniska and RL Pflugfelder. Dry corn masa flours for tortilla and snack food products. *Cereal Foods World* 1987;32: 372-377.
5. Almeida-Domínguez HD, EL Suhendro and LW Rooney. Corn alkaline cooking properties related to grain characteristics and viscosity (RUA). *J Food Sci* 1997;62: 516-519, 523.
6. Serna-Saldívar JO, MH Gómez, HD Almeida-Domínguez, A. Islas-Rubio & L.W. Rooney. A method to evaluate the lime-cooking properties of corn. *Cereal Chem* 1993;70:762-764.
7. Bedolla S, MG de Palacios, LW Rooney, KC Diehl and MN Khan. Cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by several cooking methods. *Cereal Chem* 1983;60:263-268.
8. Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis*. 54th Ed. 1984. Washington, D.C.
9. Anderson RA, HF Conway, VF Pfeiffer and EL Griffin. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking. *Cereal Science Today* 1969;14:1-4.

10. Anderson RA, HF Conway, UF Pfeiffer and EL Griffin Jr. Roll and extrusion-cooking of grain sorghum grits. *Cereal Science Today* 1969;14: 372-375.
11. O'Dell BL, AR. de Boland and SR. Koirtyohann. Distribution of phytate and nutritionally important elements among the morphological components of cereal grains. *J Agric Food Chem* 1972;20: 718-721.
12. Bjarnason M and WG Palmer. The maize germ: its role as a contributing factor to protein quantity and quality. *Z. Pflanzenzücht* 1972;68: 83-89.
13. Bressani R and C Chon. Effects of altitude above sea level on the cooking time and nutritional value of common beans. *Plant Foods for Human Nutrition* 1996;49: 53-61.
14. Bedolla S and LW Rooney. Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World* 1984;29: 732-735.
15. Bressani R, JC Turcios, E Reyes and AI Negreros. *Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en Honduras, El Salvador y Guatemala*. Sometido a publicación. *Arch Latinoamer Nutr*.
16. Serna-Saldívar SO, HD Almeida-Domínguez, MH Gómez, AJ Bockholt and LW Rooney. Method to evaluate loss of pericarp removal of lime-cooked corn kernels. *Crop Science* 1991;31: 842-844.
17. Rooney LW, HD Almeida-domínguez, EL Suhendro and AJ Bockholt. Critical factors affecting the food quality of corn. 99th Annual Corn and Sorghum Research Conference. 1993;80-96, Cereal Quality Lab. Texas A&M University, College Station, TX.

Recibido: 18-02-2000

Aceptado: 02-03-2001