

# CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL DE NUEVAS VARIEDADES DE MAÍCES DE ALTO VALOR PROTÉICO

Dr. Ricardo Bressani & Anabella Joaquín Godínez

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

## Resumen

La dieta rural de Guatemala tanto para el adulto como para el niño contiene niveles altos de maíz, cereal que aporta cantidades significativas de proteína y otros nutrientes. La calidad nutritiva de la proteína es baja por deficiencias en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, el consumo de los cuales no se puede aumentar por la falta de proteína suplementaria. Esto se lograría con el consumo de maíz QPM, de alto contenido de estos aminoácidos.

Se evaluó la composición química y el valor nutritivo de la proteína de ocho variedades de maíz de alta calidad proteínica y de un maíz control desarrollados por diferentes entidades de Guatemala. Se encontró diferencias significativas entre las ocho muestras en peso, densidad de grano y flotadores, y en el porcentaje de cáscara, de germen y de endospermo, pero están dentro de la variabilidad para maíces híbridos y variedades.

Las diferencias en composición química no fueron estadísticamente significativas con la excepción del contenido de grasa. Los maíces nutricionalmente mejorados contenían más fibra dietética que los comunes posiblemente debido a su mayor contenido de cáscara. Así mismo eran superiores en su contenido de lisina y triptófano a los maíces comunes. Las diferencias en el contenido de lisina fueron significativas. El contenido de hierro fue alto y variable significativamente. Se encontró alta variabilidad en ácido fítico.

Los maíces QPM fueron superiores (NPR= 79.5 – 105.1% caseína) al maíz común (54.9%) en calidad proteica, existiendo diferencias entre ellos. La digestibilidad de la proteína varió entre 84.4 – 91.1% para todos los maíces. Dos estudios agronómicos confirmaron la estabilidad de la calidad proteica de los maíces de tres localidades, así como también al almacenamiento.

La nixtamalización no afectó la calidad proteínica del grano como tortilla o atol.

**Palabras Claves:** Maíces, alto valor proteico, caracterización fisicoquímica, caracterización biológica, procesamiento, desarrollo de productos.

## Abstract

The Guatemalan rural diet for adults as well as for children is based on high levels of corn intake, which provide significant amounts of protein and of other nutrients. The protein quality of such diets is low due to deficiencies in the essential amino acid lysine and tryptophan the intake of which can not be improved due to the lack of protein foods rich in such amino acids. This however could be easily corrected by the consumption of QPM (Quality Protein Maize) of high content of these amino acids.

The chemical composition and nutritive value of eight samples of QPM produced by different enterprises was conducted. There were a total of nine corn samples, one of which was a maize control. Significant differences were found between the 9 samples in grain size, grain density and floater, which were similar to those found for common maize. Differences were also found in percentage seed coat, germ and endosperm, but within the variability found for common corn. The chemical composition was similar among samples with the exception of fat content. The QPM samples had about 9.3% more crude fiber, possibly due to their higher seed coat content. These samples contained more lysine and tryptophan, than common corn, with lysine showing greater variability. Both Fe and phytic acid content were quite variable. All QPM corn samples had a high protein quality (79.5 – 105.1% of casein) with a protein digestibility of 84.4 – 91.1%. The protein quality was stable as measured in samples grown in various localities and stored for variable times. The nixtamalization process does not decrease the protein quality of QPM.

**Key Words:** Maize, high protein quality, chemical characterization, biological characterization, processing, food products.

## Introducción

Datos de las encuestas de consumo de alimentos que se han llevado a cabo en Guatemala indican que el maíz es el cereal de mayor ingestión, aportando cantidades significativas de calorías,

proteína y otros nutrientes para la población en general, tanto adulta como joven (INCAP, 1969) (INE/CADESCA/SEGEPLAN, 1991). Para su consumo, el maíz es transformado en varios

productos, pero principalmente en tortilla a través del proceso de nixtamalización, o sea la cocción del maíz con cal (Bressani, 1990). Este proceso induce cambios de mucho interés nutricional

como son el aumento en el contenido de calcio (Bressani et al., 1958; Bressani et al., 1989), la mayor biodisponibilidad del ácido nicotínico (niacina) (Bressani, 1990; Kodicek et al., 1959) la alta biodisponibilidad del calcio (Braham y Bressani, 1966), la reducción en el nivel de ácido fítico (Urizar y Bressani, 1997), una reducción en la cantidad de fibra dietética (Bressani et al., 1989) así como también pérdidas significativas en las vitaminas del Complejo B (Bressani et al., 1958) y carotenos (Bressani et al., 1958). También ocurre una reducción significativa en la solubilidad de las proteínas, en particular de las prolaminas (Bressani, 1990).

La calidad de la proteína del maíz siempre fue reconocida por estar limitada por el bajo contenido de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano y por el desbalance entre leucina e isoleucina (Bressani, 1990; Bressani et al., 1968). Por consiguiente la calidad nutritiva de la proteína de la tortilla esta controlada por los bajos niveles de lisina y triptófano en la proteína del maíz (Bressani, 1990; Bressani et al., 1968). Muchos esfuerzos se han hecho a nivel mundial para mejorar la calidad de la proteína del maíz, esfuerzos que han incluido métodos de fortificación con pequeñas cantidades de proteína (Bressani y Marengo, 1963) como también estudios genéticos que pudieran afectar el contenido de los aminoácidos limitantes (Bressani, 1994). Ya en 1952 existía alguna evidencia de esta última posibilidad (Bressani, 1994; Doty et al., 1946) y así fue que en 1964 se anunció el desarrollo del maíz llamando Opaco-2 (Mertz et al., 1964) por el gene 02 que inducía un aumento significativo en el contenido de lisina y triptófano en la proteína del maíz. Este aumento se demostró ser debido a una inhibición en la síntesis de las proteínas solubles en alcohol etílico, las prolaminas, que son las más abundantes en el maíz y son deficientes en los dos aminoácidos, lisina y triptófano (Ortega et al., 1986). La evaluación biológica del mayor contenido de lisina y triptófano se demostró en múltiples estudios llevados a cabo con ratas, cerdos, pollos y perros, usando solo maíz o en mezclas del maíz Opaco-2 con otros ingredientes (Bressani y Elías 1972) como por ejemplo frijol. Los estudios de balance de nitrógeno en perros alimentados con maíz Opaco-2 siempre fueron superiores a los balances al nitrógeno de maíz común y frijol.

Estudios nutricionales en seres humanos demostraron que el maíz Opaco-2 contenía una proteína con una calidad alrededor del 90% del valor de la proteína de la leche evaluada en niños (Bressani et al., 1969) y un valor biológico del 80% medido en adultos (Young et al., 1971). De los resultados de los estudios en niños de Bressani, Alvarado, Viteri (1969) se pudo calcular que los niños estaban en equilibrio nitrogenado con una ingestión de 125 g de maíz Opaco-2 en comparación con una ingestión de 345 g de maíz común, lo que es prácticamente poco probable de ingerir por un niño de 2 – 3 años. En un estudio de la India (Singh 1977, Bressani, 1994) grupos de niños de 18 – 30 meses de edad fueron asignados a 4 diferentes tratamientos alimenticios. Un grupo de 25 niños fueron colocados en el grupo control, 42 niños se asignaron al grupo a ser alimentados con leche, 35 niños en maíz común y 32 niños en maíz Opaco-2. El estudio duro 183 días y los niños recibieron dietas con 10% de proteína y 405 cal. La respuesta fue que no hubo diferencias en el crecimiento de los niños alimentados con el Opaco-2 y con leche. En un estudio en niños escolares en Nicaragua (Ortega y col. 2008) alimentados por 3.5 meses, 5 días/semana con maíz Opaco-2 (QPM) y maíz común, se encontró lo ya indicado en otros estudios de mejor aumento en peso, crecimiento, peso/edad y talla/edad en los niños alimentados con QPM (Opaco-2) que con maíz común.

Recientemente, Gunaratna y colaboradores (2010) publicaron un análisis de las dietas de estudios de campo con un total de 1445 niños en 9 estudios. Encontraron que el maíz QPM indujo mejor talla y peso que el maíz común.

El maíz Opaco-2 sin embargo tenía varios defectos sobre todo de tipo agronómico, por lo cual fue necesario desarrollar variedades de maíz con las características nutricionales del maíz Opaco-2 pero con características agronómicas mejoradas, como rendimiento/ha, peso del grano, grano duro, y no almidonado. Esto fue logrado y se crearon una serie de materiales de maíz conocidas como QPM (Quality Protein Maize, Maíces de Calidad Proteínica) que han sido superiores agronómicamente al Opaco-2 pero han perdido un poco de su alto valor proteico (Singh, 1977).

Las investigaciones que dieron origen al maíz QPM fueron realizadas en CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) principalmente por Villegas en el aspecto químico analítico y Vasal en los aspectos genéticos, logrando el maíz QPM después de unos 20 años de investigación (Villegas 1994, Vasal 1975, 1994).

Guatemala, a través del ICTA (2000) y en colaboración con el CIMMYT ha sido muy activa en este esfuerzo, y varias selecciones del maíz de la familia QPM se han desarrollado y se les ha dado nombres como Nutricia y más recientemente Proticta (FAO, 1993). Nuevos materiales han sido desarrollados con características agronómicas mejoradas y es necesario por consiguiente evaluar la parte nutricional para estar seguro de que esta no ha sido dañada o reducida en forma significativa. El rendimiento del HB Proticta fue de 4.967 T/ha en comparación con 4.792 T/ha para el HB-83 (FAO, 1993).

Un aspecto muy importante en relación al desarrollo genético/agronómico del maíz, además de su valor proteico mejorado es su utilización en alimentación/nutrición y el impacto que pueda tener en el estado nutricional de la población en particular la de los niños. Si estos maíces llegaran a producirse en alguna escala en el país la cantidad producida y de su contenido de nutrientes se diluiría por la producción total de variedades de maíz común y el consumo del maíz común producido en el país para consumo humano y por consiguiente su impacto será imperceptible.

Por tal razón se considera de mucho interés utilizar dicha producción de maíz QPM en el desarrollo de harinas procesadas de alta aceptabilidad y fortificadas con micronutrientes para ser comercializadas como tal o para programas de alimentación/nutrición del país o para asistencia alimentaria, generalmente llevada a cabo en Guatemala con maíz donado. Varios estudios se han realizado fortificando el maíz procesado con pequeñas cantidades de proteína y también con micronutrientes (Bressani y Marengo, 1963), dando productos de alto valor nutritivo y aceptabilidad. Así mismo alimentos de alto valor nutritivo preparados con maíz alto valor nutritivo y proteínas de frijol, algodón y soya se han evaluado (Bressani y Elías, 1969) así como también con trigo en preparación de pan y derivados (Dutra de Oliveira y Dasilva, 1971; Bressani, Joachin y Specher, 2006).

Estudios referente a la utilización del maíz QPM en el desarrollo de productos a continuado, disponiendo hoy día de mucha valiosa información en la utilización del maíz QPM en alimentación y nutrición humana (Milan – Carillo y col. 2004) (Alarcon – Valdez C. y col. 2005).

## METODOLOGÍA

### Materiales

La Tabla No. 1 proporciona la información referente a las muestras utilizadas en el presente estudio.

**Tabla 1.** Nombre de maíz e institución proveedora.

Nombre del Maíz	Institución proveedora
HB Proficta origen Zacapa 2004 Sintético 5, origen Cuyuta HEB-0001, origen Cuyuta* HB-83* CML-176 origen Cuyuta GBQ-69, origen Cuyuta	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola
HRQ-511	PRODUCTORA DE SEMILLAS S.A.
HB Proficta 1999	ICTA
HS-2001	SEMILLA CRISTIANI BURKARD S.A.
HS-2002	SEMILLA CRISTIANI BURKARD S.A.

\* Maíz Control – Maíces empleados como control no son genotipos que contengan la mutación o2.

Además de las muestras indicadas, se obtuvieron muestras de maíces de variedades de producción en Guatemala, como por ejemplo la variedad HB-83, popular en la Costa Sur del país.

### Métodos

#### • Localización:

El estudio se llevo a cabo en los laboratorios del Centro de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CECTA) del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, así como también se utilizaron las facilidades de la Planta Piloto de la Universidad. Las pruebas biológicas se llevaron a cabo en el Bioterio del CECTA, localizado en el INCAP, Guatemala.

#### • Metodología Física:

Se trabajo con las nueve variedades de maíz. En la primera fase se realizaron algunas mediciones físicas (peso de mil granos, densidad, porcentaje de flotadores) y en la segunda fase se estableció la distribución de las partes estructurales principales de los granos de maíz.

**Diseción de granos:** para determinar el porcentaje de cáscara, endospermo y germen se humedecieron 10 granos (en triplicado) de cada variedad por una hora. Luego con una pinza se fue separando la cáscara y el germen. Las partes del grano se dejaron secando una noche a temperatura ambiente teniendo el cuidado de que ningún factor externo lo afectara. Al siguiente día se pesaron las partes del grano para determinar el porcentaje de distribución en el grano (De Sinibaldi y Bressani, 2001).

**Peso de 1000 granos:** Se estimo del número de granos de 50 gramos (De Sinibaldi y Bressani, 2001).

**Densidad:** La densidad se determino colocando 10 gramos de maíz previamente pesados en un cilindro con 50 cc de etanol y midiendo el aumento en volumen (De Sinibaldi y Bressani, 2001).

**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 realizando un conteo de los granos que flotaban (De Sinibaldi y Bressani, 2001).

#### • Metodología Química:

Los análisis realizados a los maíces fueron los siguientes:

**Humedad:** por el método 14.003 del AOAC (AOAC, 1984).

**Proteína:** por el método de Kjeldahl del AOAC, en donde el nitrógeno obtenido se multiplica por 6.25 (AOAC, 1984).

**Cenizas:** por el método 14.006 del AOAC (AOAC, 1984).

**Grasas (extracto etéreo):** por el método 7.062 del AOAC (AOAC, 1984).

**Residuos Neutro y Ácido Detergente:** manual de técnicas de laboratorio para análisis de alimentos (Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1984).

**Determinación espectrofotométrica cuantitativa de hierro:** (AOAC, 1984).

**Ácido fítico:** (Haug y Joachim, 1983).

**Lisina:** (Hurell y Carpenter, 1979).

**Triptófano:** (Hernández y Bates, 1969; Opienska et al., 1963).

**Pérdidas en nixtamalización:** (De Sinibaldi y Bressani, 2001).

#### • Metodología Biológica:

El método utilizado para evaluar el valor nutritivo de la proteína de los maíces fue el NPR (Razón Proteica Neta). El NPR es la ganancia de peso de la dieta experimental más la pérdida de peso de los animales en la dieta apteica, por gramo de proteína consumido (Pellet y Young, 1980). Por otro lado en algunos de los estudios realizados se evaluó la digestibilidad verdadera de la proteína que se define como la proporción de nitrógeno del alimento que es absorbida (Pellet y Young, 1980). Se realizaron varios estudios biológicos usando caseína como proteína de referencia que se describen a continuación:

- De todas las muestras del estudio.
- Estabilidad de la calidad de la cosecha de la primera siembra.
- Efecto de localidad.
- Estudio de almacenamiento.
- Efecto de la nixtamalización
- Relación entre el NPR y el contenido de lisina.

En todos los estudios se utilizaron ratas Wistar de 22 – 24 días de edad, de peso inicial 45 – 50 g y un total de 8 animales/grupo. Además de la dieta de los maíces se preparó una dieta apteica y una con 10% de proteína de caseína. Se llevaron a datos de consumo de alimento y cambios en peso cada 7 días por 14 días total.

### • Metodología Estadística:

Los datos analíticos sirvieron para obtener promedios y desviaciones estándar, así como análisis de varianza y de regresión lineal.

## RESULTADOS

### Características físicas de las muestras

La Tabla No. 2 presenta información de las características físicas de las muestras estudiadas. La comparación se hizo entre todas las muestras. El peso promedio de 1000 granos varío de 166.60 ± 0.94 g en la variedad GBQ-69 a 308.87 ± 5.86 g en la muestra HS-2001. Las diferencias fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.01$ ). El promedio de esta característica para las 9 muestras fue de 250.30 ± 4.22 g. La densidad del grano fue bastante constante con una variabilidad de 1.15 ± 0.03 a 1.27 ± 0.02 g/ml y no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre muestras. El promedio fue de 1.23 ± 0.04 g/ml. El porcentaje de flotadores un indicador de dureza del grano varío de un mínimo de 4.33 ± 1.22% a 36.33 ± 2.52%. Sinibaldi y Bressani, 2001; informaron de esta característica física de 11 variedades de maíz común utilizados para producir harina nixtamalizada de maíz. El peso de 1000 g de esas once variedades promedio 312.50 ± 33.87 g con una variabilidad estadística significativa entre las 11 variedades

como en el presente estudio aunque el peso de 1000 g fue inferior en alrededor de 62 g. La densidad de las 11 variedades fue de 1.28 ± 0.02 mientras que los del presente estudio fue de 1.23 ± 0.04 g/ml, o sea bastante parecido. Finalmente el porcentaje de flotadores de las variedades tuvo un promedio de 9.50 ± 5.3% mientras que los del presente estudio de maíces de alto valor proteico el índice de flotadores fue de 13.92% o sea granos un poco menos duros.

La distribución de las 3 principales secciones anatómicas del grano de maíz para las 9 variedades estudiadas en el presente estudio se detalla en la Tabla No. 3. El porcentaje de germen varío entre 6.89 a 13.15% con diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre muestras. Esta variabilidad en el porcentaje de germen es similar a las informadas en las 11 variedades de maíces híbridos de Guatemala (De Sinibaldi y Bressani, 2001), aunque 4 de las 9 muestras de este estudio tenían un germen de 6.9 a 9.0% del peso del grano. Con respecto al porcentaje de cáscara, esta varío entre 6.35 a 8.99%, con diferencias altamente significativas estadísticamente ( $p < 0.01$ ). Los maíces híbridos estudiados por De Sinibaldi y Bressani, 2001 contenían entre 5.41% a 7.08% de cáscara respecto al peso del grano. En el caso del endospermo, este varió entre 77.85 a 85.82 del peso del grano, con diferencia altamente significativa ( $p < 0.01$ ) entre muestras de maíz. En 11 variedades de maíces híbridos la variación en el porcentaje de endospermo fue de 80.56 a 84.85% (De Sinibaldi y Bressani, 2001) o sea un poco mas alto que en los maíces del presente estudio que en su mayoría fueron maíces de alto valor protéico con el gene Opaco-2.

Tabla 2. Peso promedio de 1000 gramos, densidad y porcentaje de flotadores

Variedad	Peso Promedio de 1000 Granos (g)	Densidad Promedio (g/ml)	% Promedio de Flotadores
HB-Proticta 2004	273.27 ± 5.65 b	1.22 ± 0.08 a	9.33 ± 1.15 def
Sintético-5	260.53 ± 6.59 bc	1.15 ± 0.03 a	12.33 ± 1.15 cd
CML-176	218.82 ± 0.77 e	1.27 ± 0.01 a	27.33 ± 1.53 b
GBQ-69	166.60 ± 0.94 f	1.21 ± 0.01 a	36.33 ± 2.52 a
HB-Proticta 1999	244.07 ± 0.92 cd	1.27 ± 0.02 a	5.33 ± 0.58 ef
HRQ-511	238.78 ± 4.62 d	1.27 ± 0.02 a	15.0 ± 1.00 c
HS-2001	308.87 ± 5.86 a	1.22 ± 0.09 a	4.33 ± 0.58 f
HS-2002	294.17 ± 5.79 a	1.22 ± 0.08 a	5.33 ± 1.53 ef
HEB-0001	247.63 ± 6.82 cd	1.27 ± 0.00 a	10.00 ± 1.0 cde
HB-83	307.50 ± 4.49	1.29 ± 0.01	4.33 ± 6.58
11 Variedades Maíz Común	312.50 ± 33.9	1.28 ± 0.016	9.49 ± 5.27

**Tabla 3.** Porcentaje promedio de germen, cáscara y endospermo

Variedad	% Germen	% Cáscara	% Endospermo
HB-Proticta 2004	9.05 ± 1.38 abcd	7.08 ± 0.38 bc	83.87 ± 1.74 ab
Sintético-5	12.89 ± 0.78 a	7.61 ± 0.03 abc	79.50 ± 0.78 bc
CML-176	13.15 ± 1.79 a	8.99 ± 0.23 a	77.86 ± 1.73 c
GBQ-69	12.99 ± 0.32 a	6.35 ± 0.56 c	80.65 ± 0.25 bc
HB-Proticta 1999	12.37 ± 1.18 ab	6.99 ± 0.26 bc	80.64 ± 1.21 bc
HRQ-511	8.07 ± 1.68 cd	8.37 ± 1.56 ab	83.64 ± 2.95 ab
HS-2001	6.89 ± 0.70 d	7.28 ± 0.39 abc	85.82 ± 0.74 a
HS-2002	8.44 ± 0.50 bcd	7.41 ± 0.01 abc	84.13 ± 0.59 ab
HEB-0001	11.92 ± 0.69 abc	6.87 ± 0.25 bc	81.21 ± 0.57 abc
HB-83	9.12 ± 0.76	5.51 ± 0.17	84.85 ± 6.58
11 Variedades Maíz Común	11.46 ± 1.12	5.72 ± 0.51	82.81 ± 1.41

### Características químicas de las muestras

La Tabla No. 4 resume la composición química proximal de las 9 muestras del presente estudio. El contenido de agua varió entre 9.26 a 11.48% con diferencias significativas entre maíces ( $p < 0.01$ ). El porcentaje de proteína en base natural varió entre 8.40 a 10.67% pero las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Solo 2 de los 9 materiales analizaron arriba del 10% de proteína. En la tabla también se muestra el contenido de cenizas en las 9 muestras de maíz, encontrándose una variabilidad de 1.40 a 2.00%, sin embargo las diferencias entre las 9 muestras no fueron estadísticamente significativas. El contenido de grasa mostró una variación de un valor bajo de 4.77% a un valor alto de 6.37% con diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.01$ ).

**Tabla 4.** Porcentaje promedio del análisis químico de las variedades de maíz

Variedad	% Humedad	% Proteína	% Cenizas	% Grasa	Fibra Dietética	
					Acido Detergente %	Neutro Detergente %
HB-Proticta 2004	10.95 ± 0.16	9.71 ± 0.33	1.82 ± 0.14	5.38 ± 0.04	2.36 ± 0.02	26.21 ± 3.41
Sintético-5	11.48 ± 0.04	8.39 ± 0.41	1.94 ± 0.29	5.58 ± 0.05	1.85 ± 0.35	22.66 ± 0.84
CML-176	9.26 ± 0.70	9.88 ± 0.27	1.79 ± 0.11	6.24 ± 0.19	1.87 ± 0.08	18.43 ± 2.53
GBQ-69	9.53 ± 0.15	9.08 ± 0.82	1.41 ± 0.03	5.51 ± 0.62	3.83 ± 0.06	22.81 ± 2.00
HB-Proticta 1999	10.27 ± 0.40	8.95 ± 0.80	1.92 ± 0.02	5.13 ± 0.06	2.74 ± 0.36	22.68 ± 0.89
HRQ-511	9.73 ± 0.19	8.42 ± 0.35	1.51 ± 0.47	4.77 ± 0.03	2.80 ± 0.09	23.43 ± 3.52
HS-2001	9.65 ± 0.03	10.17 ± 0.29	1.53 ± 0.01	5.36 ± 0.26	4.41 ± 0.64	32.85 ± 0.72
HS-2002	9.45 ± 0.08	10.67 ± 0.31	1.61 ± 0.07	5.53 ± 0.20	3.35 ± 0.52	30.46 ± 0.99
HEB-0001	10.33 ± 0.27	8.56 ± 0.48	2.06 ± 0.02	6.37 ± 0.13	0.96 ± 0.30	17.75 ± 0.14

**Tabla 5.** Contenido de lisina, triptófano, hierro y ácido fólico en muestras de maíz

Maíz	Lisina g/16 g N	Triptófano g/16 g N	Hierro mg/100 g	Acido Fólico mg/100 g
HB-Proticta Zacapa	2.89 ± 0.34	0.57 ± 0.03	4.38 ± 0.34	684 ± 9.9
GBQ-69	3.07 ± 0.35	0.81 ± 0.04	3.22 ± 0.13	780 ± 0
CML-176	2.56 ± 0.51	1.01 ± 0.10	7.50 ± 0.15	675 ± 11.3
Sintético 5	2.58 ± 0.02	0.96 ± 0.07	4.65 ± 0.40	669 ± 9.2
Proticta 1999	2.62 ± 0.18	0.90 ± 0.01	5.83 ± 0.15	368 ± 22.6
HRQ-511	2.48 ± 0.12	0.82 ± 0.08	3.81 ± 0.05	529 ± 25.5
HS-2001	3.33 ± 0.77	0.96 ± 0.03	2.35 ± 0.13	463 ± 55.1
HS-2002	3.26 ± 0.21	0.92 ± 0.04	3.25 ± 0.16	456 ± 14.8
HEB-0001	1.87 ± 0.18	0.27 ± 0.06	2.99 ± 0.05	649 ± 9.9
HB-83	1.89 ± 0.06	0.31 ± 0.03	-	-

La Tabla No. 4 resume los datos que se obtuvieron al medir el contenido de fibra ácido detergente y fibra neutro detergente, valores que representan los contenidos de celulosa, hemicelulosa, lignina, almidón resistente y otros carbohidratos complejos. Los valores de la fibra ácido detergente fueron diferentes significativamente entre variedades ( $p < 0.01$ ), con el maíz normal (HEB-0001) con los valores mas bajos en comparación con los maíces de mayor valor proteínico. El contenido de fibra neutro detergente también fue estadísticamente diferente entre maíces ( $p < 0.01$ ) con el HEB-0001 con los valores más bajos. De nuevo los maíces de mejor calidad proteínica contenían más fibra neutro detergente que es un reflejo del porcentaje de cáscara de los maíces que se encuentran en la Tabla No. 3.

Los maíces también fueron analizados por su contenido de hierro y ácido fólico, datos que se presentan en la Tabla No. 5. Con respecto al hierro, las diferencias fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.01$ ). Uno de los maíces de alto valor proteínico demostró tener 7.50 mg/100 g de hierro. Sería de interés conocer si al sembrar la nueva semilla continua teniendo valores altos de hierro. Referente al contenido de ácido fólico, los maíces contuvieron cantidades diferentes estadísticamente ( $p < 0.01$ ). Los valores son normales en general, excepto en tres muestras de maíces de alto valor proteínico (Proticta 1999, HS-2001 y HS-2002). Estos maíces fueron producidos en el año 1999, 2001 y 2002 y analizados en el año 2005. Podría ser que el almacenamiento estimulo a la fitasa a reducir el nivel de ácido fólico, un aspecto que debería ser estudiado en mas detalle junto al nivel alto de hierro encontrado en la muestra CML-176.

La Tabla No. 5 contiene información sobre el contenido de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano en las muestras de maíz del presente estudio. Todos los maíces de alto valor proteínico contienen niveles mayores de lisina que los maíces comunes, pero existe alta variabilidad entre ellos. Aun así no se encontró valores estadísticamente diferentes. En esta tabla el HB-83 y HEB-0001 son maíces comunes con niveles de lisina 75% más o menos más bajos que los maíces de mejor calidad proteínica. Lo mismo es aplicable al triptófano, el cual se encontró en mayores niveles en los maíces de calidad proteínica que en los maíces comunes. En este caso hubo diferencias estadísticamente significativas en los niveles de triptófano entre maíces ( $p < 0.01$ ). Como con la lisina, el nivel de triptófano es diferente entre maíces de calidad proteica y muy superiores a los maíces comunes.

### Calidad Biológica de la Proteína de las Variedades de Maíz del Presente Estudio

Las muestras de maíz sometidas a una evaluación biológica de la calidad de la proteína se molieron para dar una harina con una granulometría mayor de 60 mesh. Luego se tomaron 1800 g de cada harina de cada variedad y se incorporaron a la dieta que se describe a continuación: harina de maíz, 90.0%; mezcla mineral Hegstead, 4.0%; aceite de soya, 5.0% y mezcla vitamínicas (Dyets Inc. 1999) 1%. Después de mezclado se tomo una muestra para determinación del contenido de proteína. El ensayo por 14 días fue uno de NPR con caseína como proteína de referencia usando 8 ratas por tratamiento. Durante los últimos 5 días de los 14, se tomaron datos de producción de materias fecales y consumo de dieta para la determinación de la digestibilidad con la proteína de los maíces, pero en solo los animales machos. Además se utilizó una dieta apteica para medir las pérdidas analizadas de nitrógeno.

Los resultados se resumen en la Tabla 6. Con respecto al aumento en peso, las diferencias entre maíces fueron altamente significativas ( $p < 0.01$ ) usando el maíz HEB-0001 el que dio el menor aumento en peso, maíz que no contiene genes de mejor calidad protéica. El cuadro presenta también el alimento consumido, habiendo diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.01$ ) al igual que el NPR, con los maíces con el gene de calidad proteica dando valores más altos que los maíces sin el gene de calidad de proteína. La calidad protéica de los maíces como porcentaje de caseína varió entre 79.3 a 105.1%, mientras que el maíz común el valor fue del 54.9%. Las digestibilidades entre maíces también fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.01$ ) y en general un poco más altas de lo esperado.

### Estabilidad de la Calidad Proteínica del Maíz Proticta

Con el propósito de conocer la estabilidad de la calidad protéica del maíz de alta calidad protéica se llevaron a cabo dos estudios agronómicos, el primero con la variedad HRQ-511 y el HB-Proticta Zacapa 2004 sembrados en una localidad en un área de  $40m^2$  cada uno y el segundo con el maíz HB-Proticta Zacapa 2004 cultivado en 3 localidades de Guatemala, Barcenás, Cuyuta y La Maquina. Este último estudio fue llevado a cabo por el ICTA con el fin de proveer grano a los programas nutricionales del gobierno.

La Tabla 7 resume la calidad protéica como NPR y como porcentaje de caseína de dos maíces, el HRQ-511 y el HB-Proticta de la muestra original recibida y de este maíz cultivado. El NPR del HBQ-511 fue 3.57  $\pm$  0.16 y 3.95 de la cosecha 0.03 y de 84.8 a 89.4 como porcentaje de caseína. En el caso del HB-Proticta los valores de NPR fueron 3.33 y 3.67, equivalente a 80.0 y 83.0% de caseína. Esta información indica que la estabilidad de la calidad protéica es alta por lo menos en la primera siembra.

**Tabla 6.** Valor protéico de las muestras de maíz utilizando ratas Wistar de 22 días e edad

Maíz	Aumento en Peso, g	Alimento Total Consumido, g	NPR	NPR % Caseína	Digestibilidad de la Proteína %
HB-Proticta 2004	40 bc	165 a	3.32 d	80.0	91.1 ab
GBQ-69	37 bc	153 ab	3.53 bcd	85.1	87.6 ab
CML-176	34 c	148 ab	3.29 d	79.3	86.7 b
Sintético 5	35 c	163 a	3.41 cd	82.2	90.8 ab
HB-Proticta 1999	31 c	148 ab	3.42 cd	82.4	88.1 ab
HRQ-511	34 c	165 a	3.57 bcd	86.0	84.4 b
HS-2001	47 b	129 b	4.36 a	105.1	81.7 b
HS-2002	46 b	130 b	4.22 ab	101.7	84.7 b
HEB-0001	15 d	124 b	2.28 e	54.9	90.5 ab
Caseína	63 a	170 a	4.15 abc	100.00	96.7 a

Todas las muestras de maíz contienen el gene QPM con la excepción de la variedad HEB-0001.

**Tabla 7.** Valor proteico de variedades de maíz proticta de la semilla y de su cosecha

Maíz	Valor Proteico NPR		% de Caseína	
	Semilla	Cosecha	Semilla	Cosecha
HRQ-511	3.57 $\pm$ 0.16	3.95 $\pm$ 0.03	84.8	89.4
HB-Proticta Zacapa 2004	3.33 $\pm$ 0.05	3.67 $\pm$ 0.05	80.0	83.0

**Tabla 8.** Maíz proticta cultivado en 3 localidades de Guatemala

Localidad	Maíz	Humedad %	Proteína %	Grasa %	Lisina g/16g N
Patulul	HB-83	9.29 $\pm$ 0.05	8.10 $\pm$ 0.35		
Barcenás	Proticta	8.37 $\pm$ 0.18	7.62 $\pm$ 0.01	4.65 0	3.12
La Maquina	Proticta	8.35 $\pm$ 0.13	8.13 $\pm$ 0.03	5.14 0	3.03
Cuyuta	Proticta	7.65 $\pm$ 0.18	7.62 $\pm$ 0.01	5.50 0	3.23

**Tabla 9.** Razón proteica neta (NPR) del maíz Proticta cultivado en 3 localidades de Guatemala

Localidad	Aumento en Peso, g	Alimento Ingerido, g	Razón Proteica Neta (NPR)	Calidad Proteínica, % de Caseína
HB-83 Patulul	16 ± 2.9	120 ± 9.0	2.55 ± 0.32	57.7
Proticta Barcenás	21 ± 3.4	116 ± 10.7	3.63 ± 0.17	82.1
Proticta La Máquina	32 ± 4.5	138 ± 15.2	3.76 ± 0.25	85.1
Proticta Cuyuta	28 ± 4.4	133 ± 9.6	3.82 ± 0.26	86.4
Caseína	82 ± 6.0	192 ± 14.0	4.42 ± 0.16	100.0

Los datos del estudio del efecto de localidad sobre la calidad de la proteína del grano se presentan en la Tabla 8 y Tabla 9. En la primera se resumen datos de composición química, entre los cuales la lisina son los de mayor interés. Lo que se encontró también es el bajo contenido de proteína. Sin embargo, los datos en la Tabla 8 demuestran claramente que la localidad de siembra no afectó la calidad proteínica del HB-Proticta que fue de 82.1% a 86.4% de caseína entre la localidad de Barcenás y Cuyuta. Estos datos demuestran que la calidad proteínica se mantiene constante por lo menos durante la primera siembra del grano.

### Relación Entre el NPR (Calidad de Proteína) y el Contenido de Lisina

La descripción del método utilizado está descrito en materiales y métodos. Los resultados se presentan en la Tabla 10 y 11.

El concepto es válido, sin embargo es necesario ampliar el número de observaciones para establecer la regresión con mayor significancia estadística, en particular en maíces con bajo nivel de lisina. La Figura siguiente presenta la regresión entre NPR y el contenido de lisina.

### Nixtamalización

#### Pérdida de Sólidos en Nixtamalización

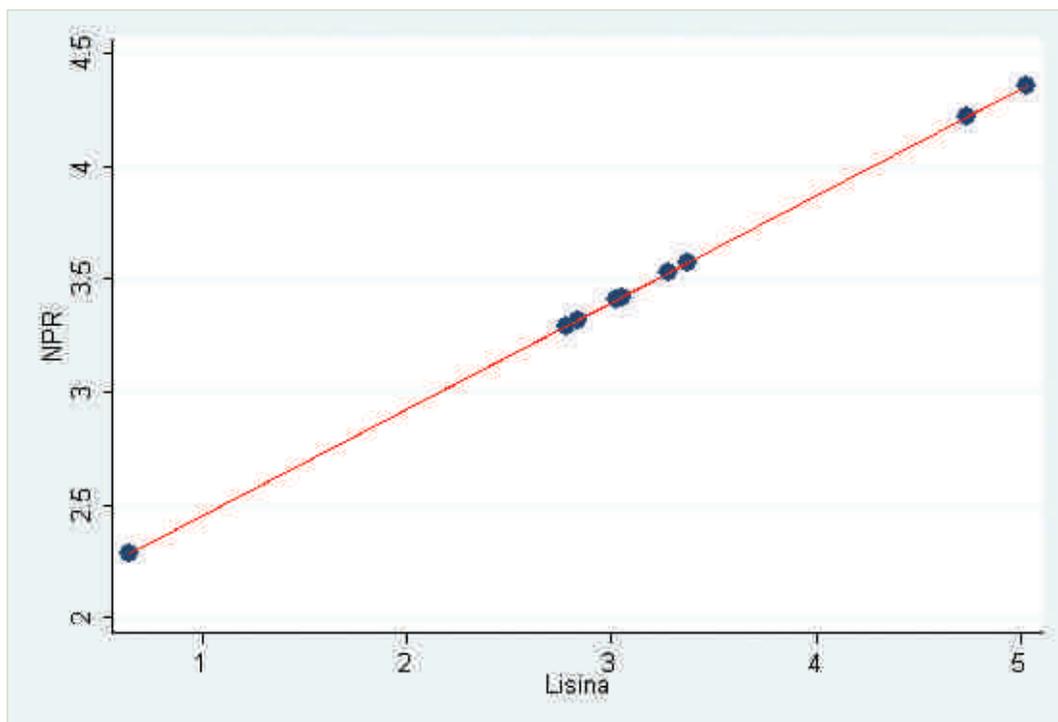
El alto rendimiento de la tortilla es una característica buscada por consumidores e industriales en la conversión de maíz a tortilla. Por consiguiente los maíces del presente estudio se evaluaron con respecto a las pérdidas en sólidos durante una nixtamalización estándar a nivel de laboratorio, de cocción con cal, remojo y lavado del nixtamal. Los datos se resumen en la Tabla 12. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre muestras. La tabla muestra el porcentaje de cáscara de cada maíz. Al compararlos se nota en algunos casos mayores cifras entre la pérdida por nixtamalización y el porcentaje de cáscara. Esto se interpretó como que en este caso se perdió no solo cáscara sino sólidos del endospermo.

**Tabla 10.** Contenido de lisina en mezcla de maíces y NPR

Lisina en Maíz, g/16 g N	Valores de NPR
2.63	3.68, 3.31, 3.34, 2.55, 2.79, 3.45, 3.12,
3.44	3.06, 3.87, 3.34, 3.26, 3.22, 3.44
3.50	3.57, 3.67, 3.83, 3.75, 3.50
3.93	3.88, 3.93, 4.24, 3.68, 3.74, 3.85, 3.40

**Tabla 11.** Regresión entre NPR y lisina y valores de lisina calculada de la regresión

Maíz	NPR	Lisina
HB-Proticta	3.32	2.84
GBQ-69	3.53	3.28
CML-176	3.29	2.78
Sintético 5	3.41	3.0x3
HB-Proticta 1999	3.42	3.05
HRQ-511	3.57	3.37
HS-2001	4.36	5.03
HS-2002	4.22	4.74
HEB-0001	2.28	0.65



Relación lineal entre el NPR (Calidad de Proteína) y el contenido de lisina. La ecuación del modelo es:  $NPR = 0.4746 * Lisina + 1.9716$ . El ajuste es perfecto ( $R^2 = 1.000$ )

**Tabla 12.** Pérdidas de sólidos durante la Nixtamalización

Maíz	% Pérdida	% Cáscara
Proticta Zacapa	6.65 0.18	7.08
GBQ-69	7.33 0.39	6.35
CML-176	6.95 0.82	8.94
Sintético 5	7.16 0.81	7.61
HRQ-511	6.54 0.09	8.37
Proticta 1999	6.26 0.23	6.99
HS-2001	5.79 0.20	7.28
HS-2002	7.24 0.28	7.49
HEB-0001	7.98 0.12	6.87

Opaco – 2 tenía un valor de 80% del valor de la leche (Bressani y Elías, 1972). El problema con el maíz Opaco – 2 fue su bajo rendimiento y características físicas muy inferiores al maíz normal, incluyendo propiedades tecnológicas (De Sinibaldi y Bressani 2001). Esto llevo al CIMMYT (Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo) y al ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola) a buscar soluciones habiéndose publicado unos 25 años mas tarde lo que se ha llegado a conocer como QPM (Quality Protein Maize), un grano de rendimiento comparable y que posee las propiedades físicas y químicas del maíz común, aunque con mayores contenidos de lisina y triptófano, lo que le proporciona un valor proteico superior al del maíz común. Así mismo, puede ser procesado como el maíz común sin problemas en los productos obtenidos (ICTA 2000, Kodicek y col. 1959, Mendoza y col. 1998, Milan-Camilo y col. 2004, Raboy y col. 1989).

Los sistemas de producción de maíz en Guatemala para los pequeños y medianos agricultores se fundamentan en el uso como semilla de las mejores mazorcas en los campos de cultivo. De esta manera el agricultor reduce sus costos de producción y tiene una garantía que el maíz que siembre no sólo le dará una producción de acuerdo a lo que el agricultor espera sino también es un maíz que se transforma en alimentos que el agricultor y su familia están acostumbrados a consumir. Por estas razones es que la introducción de híbridos, variedades y maíces diferentes a los que el agricultor conocer es una tarea difícil de implementar en forma general en una país como Guatemala. En base a las observaciones indicadas, se considera que además de la introducción directa al agricultor, estos maíces QPM de alto valor nutritivo deben de introducirse a través de sistemas de agroindustrias alimenticias. Para esta situación estos maíces deben de llevar varias cualidades de grano como peso del grano, densidad, porcentaje de flotadores, calidad de cocción para nixtamalización o para otro tipo de procesamiento como se ha utilizado en granos híbridos de maíz y también la distribución morfológica del grano (Almeida-Domínguez et al., 1993; De Sinibaldi y Bressani, 2001).

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En 1964 Mertz y col publicaron por primera vez el efecto del gene Opaco - 2 en inducir un aumento significativo de la calidad de la proteína del maíz, debido a que este gene aumentaba los niveles de lisina y triptófano de la proteína, aminoácidos esenciales deficitarios en la proteína del maíz común (Bressani y Elías, 1969). Un poco de tiempo después se publicaron resultados de balance de nitrógeno en niños, demostrando que la proteína del maíz

En el caso del maíz QPM, su introducción en la agricultura convencional es algo que se debe razonar y planificar para que sus propiedades nutritivas tengan un impacto en el consumidor rural/urbano en particular los niños. Un enfoque que podría ser efectivo es el de asociar la producción del grano de maíz QPM con una industria alimenticia. Se debe iniciar con un registro de agricultores que van a cultivar el QPM y a estos se les garantiza un precio atractivo para interesar al productos. El maíz del agricultor debe recibir un control de calidad del grano consistente en el análisis de lisina o triptófano o un método biológico (NPR) de corto tiempo. Solo se utilizaron los maíces que contienen el valor de lisina por ejemplo, el promedio de datos de este estudio. El maíz que pasa la prueba de calidad es limpiado y almacenado para su procesamiento o para su comercialización como grano. El grano que no se comercializa como tal se envía a un sistema de procesamiento para producir una harina nixtamalizada o una harina solamente precocida, o laminada para utilizarlas en el desarrollo de harinas compuestas con otros cereales. Estos productos procesados regresarían al agricultor vendidos a precios razonables, así como también a cualquier otro consumidor que los solicita.

Algunos aspectos sobre el maíz Opaco-2 en nutrición humana y su utilización en alimentos han sido presentados (Bressani, 1994). Una de las primeras posibles aplicaciones fue su uso en harinas compuestas de acuerdo a Dutra de Oliveira et al., 1971. Así mismo Bressani y Elías 1969; estudiaron el uso del maíz Opaco-2 como ingrediente de alimentos complementarios. Sproule et al. 1988, describieron el efecto de varios procesos alcalinos en la cocción de maíz QPM para la preparación de tortillas y de chips de tortilla, obteniendo resultados bastante favorables. Resultados similares fueron informados por Milan-Carrillo et al., 2004; que estudiaron la optimización del proceso alcalino de cocción aplicado a nuevas variedades de maíces QPM en México.

Leal-Díaz et al. 2002 estudiaron las propiedades de cocción alcalina de QPM y llegaron a la conclusión de que las características del QPM fueron excelentes, con una remoción fácil del perispermo y las tortillas fueron altamente aceptables en roabilidad y extensión. Leal-Díaz et al. 2003, también estudiaron el efecto del proceso de extrusión, llegando a la conclusión de que el QPM puede ser utilizado en cereales de desayuno, harinas precocidas y en snacks a través de un proceso de extrusión.

En el área de harinas compuestas, el uso de un maíz como el QPM tiene posibilidades atractivas para personas con problemas en la utilización del gluten de trigo o con personas susceptibles a los efectos de glucosa diabéticos. Los resultados de mezclas de harina de trigo con harina maíz QPM y maíz común mostraron dos respuestas similares al aumentar el porcentaje de maíz al trigo, debido a que la proteína del trigo es mas deficiente en lisina que la proteína del maíz común y obviamente mas que la del QPM. Para mejorar aun más la calidad nutritiva de un producto como el pan de trigo con maíz, se utilizó harina de amaranto, un grano nutricional excepcional. El uso de estos tres ingredientes con otros comúnmente utilizados en panificación dieron como resultado un pan de calidad nutritiva alta y de buena aceptabilidad. Los resultados obtenidos demuestran los grandes beneficios que se podrían lograr con la industrialización del cultivo del maíz QPM.

## CONCLUSIONES

1. Los maíces modificados con el gene Opaco-2 desarrollados por varias instituciones en Guatemala tienen características físicas y estructurales similares a maíces comunes cultivados en el país.
2. Los maíces QPM contiene niveles mayores de lisina (2.48 – 3.33 g Lis/16 g N) y triptófano (0.81 – 1.01 g T/16 g N) y una calidad proteínica medida por PER y NPR mayores los maíces comunes.
3. Los maíces QPM contienen niveles variables de ácido fítico similares a los maíces normales y niveles variables de hierro.
4. La eficiencia de conversión de maíz a tortilla de los maíces QPM de alta calidad proteínica es igual a la de maíces normales y la harina nixtamalizada tiene una calidad proteínica alta e igual a la del maíz crudo.
5. Dentro del grupo de muestras estudiadas habían 3 con años de producción de 1999, 2001 y 2002. Estas 3 muestras de maíz de calidad de proteína mostraron mantener su calidad proteínica alta, sugiriendo que el almacenamiento no altera la calidad nutritiva alta en estos maíces. Estos maíces contenían 429 mg % de ácido fítico en contra de 664 mg % para los otros.
6. Los maíces de alta calidad de proteína contienen 9.3% más de cáscara que los maíces comunes, que se refleja en un mayor contenido de fibra dietética.
7. Los maíces de alta calidad mantienen su calidad nutritiva al ser cultivados en varias regiones de Guatemala.
8. El proceso de nixtamalización no altera el valor proteínico de los maíces de calidad proteínica superior.

## AGRADECIMIENTOS

Por este medio se agradece la colaboración en términos de muestras de maíz QPM otorgadas por el ICTA, Productora de Semilla S.A. y Semillas Cristiani Burkards, S.A. El proyecto fue parcialmente financiado por SENACYT, FD008-2003 denominado "Caracterización química/nutricional y funcional de nuevas variedades de maíces de alto valor nutritivo".

## BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón – Valdez C., J. Milan-Carrillo, O.G. Cárdenas Valenzuela, R. Mora-Escobedo, L.A. Bello Perez, C. Reyes-Moreno (2005). Infant food from quality protein maize and chick peas: optimization for preparing and nutritive properties. *International Journal of Food Science and Nutrition* 56:273 – 285.
- Almeida-Domínguez H.D., Elsukendro and Rodroya L.W. (1993). Corn alkaline cooking properties related to gray characteristics and viscosity (RUA). *J. Food Sci.* 62:516-519.
- AOAC, 1984. *Official Methods of Analysis*. AOAC Washington DC 14<sup>th</sup>. Ed.

- Braham, J.E. & R. Bressani (1966). Utilización del calcio del maíz tratado con cal. *Nutr. Bromatol. Toxicol.* 5:14-19.
- Bressani, R. (1990). Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. *Food Revs. Inter.* 6:225-264.
- Bressani R. (1994). Opaque-2 corn in human nutrition and utilization. P. 41-63. In: *Quality International Symp. On Quality. Protein Maize (1964-1994) Protein Maize.* EMBRAPA/CN PMS, Seta Logoas, MG. Brozie, Dec. 1-3.
- Bressani R y L.G. Elías. La calida proteica del maíz Opaco-2 como ingrediente de dietas rurales de Guatemala. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 22:577-594, 1972.
- Bressani R., J. Alvarado y F. Viteri (1969) Evaluación en niños de la calidad de la proteína del maíz Opaco-2. *Arch. Lat. Amer. Nutr.* 19:129-140.
- Bressani R., M. Breuner y M. A. Ortiz (1989). Contenido de fibra-acido y neutro-detergente y de minerales menores en maíz y su tortilla. *Arch. Lat. Amer. Nutr.* 39:382-391.
- Bressani, R. y L. G. Elías, 1969. Studies on the use of Opaque-2 corn in vegetable protein – rich foods. *J. Agri. & Food Chem.* 17:659-662.
- Bressani, R., L.G. Elías and J. E. Braham (1968). Suplementación con aminoácidos del maíz y de la tortilla. *Arch. Lat. Amer. Nutr.* 18:123-134.
- Bressani R., A. Joaquín Godínez y M.A. Specher. Desarrollo de productos utilizando maíz de alta calidad proteínica. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, No. 15 Nov. 2006, p. 38 – 49.
- Bressani, R. y E. Marengo (1963). The enrichment of lime-treated corn flour with proteins, lysine and tryptophan and vitamin. *J. Agr. Food Chem.* 6:517-522.
- Bressani, R. R. Paz y Paz and N. S. Scrimshaw (1958). Corn nutrient losses. Chemical changes in corn during preparation of tortillas. *J. Agr. & Food Chem.* 6:770-774.
- De Sinibaldi, A.C.B. & Ricardo Bressani (2001). Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Arch. Lat. Amer. Nutr.* 51:86-94.
- Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1984. *Manual Técnicas de Laboratorio para el Análisis de Alimentos.* División de Nutrición Experimental y Ciencia de Alimentos. México. 171 pp.
- Doty D.M., Bergdull M.S., Nash N.A. and Bronson A.M. (1946). Amino acid in corn grain from several single cross hybrids. *Cereal Chem.* 23:199-204.
- Dutra de Oliveira, J.E. & María L. P. Dasilva. 1971. Nutritive value of Opaque-2 corn and its mixture with hybrid corn and wheat flour. *J. of Food Sci.* 36:370-371.
- FAO (1993). El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y Nutrición No. 25.
- Nilupa S. Gunaratna, Hugo De Groote, Penelope Nestel, Kevin V. Pixley and George P. McCabe 2010. A meta-anlysis of community based studies on quality protein maize. *Food Policy*, Volume 35, Issue 3, June 2010, Pages 202-210.
- Haug W & Joachim H. Sensitive Method for the Rapid Determination of Phytate in Cereals and Cereal Products. *Journal Science Food Agriculture.* 1983; 34:1423-1426.
- Hernández, H. and Bates. L. A modified method for rapid tryptophan analysis in maize. *CIMMYT. Research Bulletin* No. 13, May 1969.
- Hurell R, Lerman P & Carpenter K. Reactive Lysine in Foodstuffs as Measured by a Rapid Dye-Binding Procedure. *Journal of Food Science.* 1979; 44:1221-1231.
- INCAP (1969). Evaluación nutricional de la población de Centroamérica y Panamá. Guatemala INCAP, Guatemala.
- INE/CADESCA/SEGEPLAN (1991). Encuesta de consumo aparente de alimentos. INE. Guatemala.
- Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) 2000. Investigación y Desarrollo de Maíz de Alta Calidad de Proteína. Guatemala, Febrero 2000.
- Kodicek, E., R. Braude, S. K. Kon and K. G. Mitchell (1959). The availability to pigs of nicotinic acid in tortilla baked from maize treated with lime-water. *Brit. & Nutr.* 13:363-384.
- Leal-Díaz, A.M., Betran, J., Waniska, R.D., Rooney, L.W. 2002. Alkaline cooking properties of Quality Protein Maize. *Cereal Quality Laboratory, Texas A&M University College Station, Tx.*
- Leal-Díaz, A.M., Rooney L.W., Waniska, R.D., Barron M., Riaz, M. 2003 Evaluation of extrusion properties of Quality Protein Maize and food grade maize. *Cereal Quality Laboratory, Texas A&M University College Station, Tx.*
- Mendoza C., F.E. Viteri, B. Lonnerdal,, K.A. Young, V. Raboy and K.H. Brown (1998). Effect of genetically modified low-phytic acid maize on absorption or iron from tortillas. *Amer. J. Clin. Nutr.* 68:1123-1127.
- Mertz, E. J. Bates and O.E. Nelson (1964). Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Science* 145:279-280.
- Milan-Carrillo, J., R. Gutiérrez-Dorado, E.U. Cuevas-Rodríguez, J.A. Garzón-Tiznado and C. Reyes-Moreno (2004). Nixtamalized flour from Quality Protein Maize (*Zea mayz* L) optimization of alkaline processing. *Plant Food Hum. Nut.* 59:35-44.
- Opienska-Blauth, J., Charezninski, M and Berbecm H. A new rapid method of determining tryptophan. *Rep, Analytical Biochemistry* 6:69 (1963).
- Ortega, E.I., E. Villegas and S.K. Vasal (1986). A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem.* 63:446-451.
- Ortega Aleman, E. Del Campo, A.J. Coulson Romero, L.I. Ordoñez Argueta, H. Pachón 2008. Efecto de la ingesta de maíz de alta calidad de proteína (QPM) versus maíz convencional en el crecimiento y la morbilidad de niños nicaragüenses desnutridos de 1 a 5 años de edad. *Archivos Latino Americanos de Nutrición* 58:377-385.
- CIMMYT – Purdue International Symposium on Protein Quality in Maize, El Batán, México 1972. High Quality Protein Maize.
- Pellet P.L. and Young V.R. Evaluación nutricional de alimentos proteínicos. *Pub. WHTR-3/UNUP-129.* The United Nations University.
- Raboy V., F.E. Below and D. B. Dickinson (1989). Alteration of maize kernel phytic acid level by recurrent selection for protein and oil. *J. Hered.* 80:311-315.

- Singh, J. 1977. Studies on assessing the nutritive value of Opaque-2 maize. Final report of the Project Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India.
- Sproule, A.M., Serna-Saldivar, S.O., Buckholt, A.J., Rooney, L.W., Knabe, D.A. (1988). Nutritional evaluation of tortillas and tortilla chips from Quality Protein Maize. *Cereal Foods World* 33:233-236.
- Sustain (1997) Fortification of corn masa flour with iron and/or other nutrients. A Literature and Industry Experience Review. U.S. A.I.D. Washington DC. U.S.
- Urizar, A.L. & R. Bressani (1997). Efecto de la nixtamalización del maíz sobre el contenido de ácido fítico, calcio y hierro total y disponible. *Arch. Lat. Amer. Nutr.* 47:217-223.
- Vasal, S.K. *Speciality Corns*. Ed. A.R. Hallaver. CRC Press Boca Raton, pag. 79, 1994.
- Vasal, S. K. Use of genetic modifiers to obtain normal-type kernels with the Opaque-2 gene p. 197 In: *High Quality Protein Maize* Dowden Hutchirson & Ross Ra. USA, 1975.
- Villegas E. Factors limiting quality protein maize (QPM). Development and utilization p. 79 In: *Quality Protein Maize 1964 – 1994 Proc. International Symposium on Quality Protein Maize*. Embrapa/CNPMS Setelagas MG Brazil. Dec. 1 – 3, 1994.
- Villegas E., E. Ortega & R. Baver (1982). Métodos químicos usados en el CIMMYT para determinar la calidad de proteína de los cereales. *El Botan, México*.
- Young U.R., I. Ozalp, B.U. Chukus and N.S. Scrimshaw (1971). Protein value of Colombian Opaque-2 corn for young adult men. *J. Nutr.* 101:1475-1481.



**Ricardo Bressani**  
bressani@uvg.edu.gt

**Anabella Joachin Godínez**  
anabellajoachin@yahoo.com