

# Desarrollo de Productos

## Utilizando Maíz de Alta Calidad Proteínica

Dr. Ricardo Bressani,  
Lic. Anabella  
Joachín Godínez,  
M.Sc. María Andrea  
Specher

### Resumen:

Hace aproximadamente 20 años, centros de investigación agrícola, desarrollaron maíces de alta calidad proteínica, conocidos como QPM (*quality protein maize*). Son variedades de maíz que contienen la misma cantidad de proteína que el maíz común, pero con concentraciones mayores de lisina y triptófano, mejor balance de aminoácidos esenciales y por consiguiente una calidad proteínica superior. Debido al alto consumo de maíz en Guatemala, el maíz QPM tendría un impacto significativo en el estado nutricional de la población si ésta lo consumiera, sin embargo, dado la diversidad de la producción del maíz en Guatemala, sería difícil que todas las variedades, híbridos, y maíces comunes llevaran la característica genética del QPM. Además, el maíz QPM existe, es competitivo agronómicamente con híbridos y variedades y puede ser útil en el desarrollo de alimentos. En este trabajo, tanto el maíz QPM, como el normal fueron procesados por nixtamalización, cocción en agua y deshidratado por rodillos, germinación, tostación y malteado. Las harinas procesadas del QPM fueron siempre de mejor calidad nutritiva que las de maíz común. No hubo diferencias marcadas entre procesos dentro de cada maíz. El maíz QPM malteado sirvió para desarrollar un alimento complementario con leche

(Zealac) en una proporción de 72 maíz/28 leche, alimento que contenía 16.5% de proteína, 360 cal/100 g y una calidad proteica igual a la de la caseína. La prueba sensorial indicó que esta mezcla entre 3 fue la más aceptable. Finalmente, se preparó pan de sólo harina de maíz QPM, maíz con amaranto y de solo trigo. Los resultados de calidad nutritiva fueron mejores para el pan de maíz y amaranto, luego el de maíz, y por último el de trigo, con valores de NPR (*net protein ratio*) de 2.48, 2.19 y 1.62 respectivamente, siendo el de caseína de 3.88. Estos datos indican que el maíz QPM de producción nacional puede ser útil en el desarrollo de productos alimenticios de alta aceptabilidad, valor nutritivo y beneficios en salud.

### 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 (1, 2). 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 (3). Este proceso induce cambios de mucho interés nutricional como son el aumento en el

contenido de calcio (4, 5), la mayor biodisponibilidad del ácido nicotínico (niacina) (3, 6) la alta biodisponibilidad del calcio (7), alguna reducción en el nivel de ácido fítico (8), una reducción en la cantidad de fibra dietética (5) así como también pérdidas significativas en las vitaminas del Complejo B y carotenos (4). También ocurre una reducción significativa en la solubilidad de las proteínas, en particular de las prolaminas (3).

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 (3, 9).

Por consiguiente, la calidad nutritiva de la proteína de la tortilla está controlada por los bajos niveles de lisina y triptófano en la proteína del maíz (3, 9). 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 (10) como también estudios genéticos que pudieran afectar el contenido de los aminoácidos limitantes (11). Ya en 1952 existía alguna evidencia de esta última posibilidad (11, 12) y así fue que en 1964 se anunció el desarrollo del maíz llamando Opaco-2 (13) por el gen 02 que inducía un aumento significativo en el contenido de lisina y triptófano en la proteína del maíz.

Este aumento 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 (14).

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 (15) y un valor biológico del 80% medido en adultos (16). En un estudio de la India (11) 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 duró 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.

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 (17).

Guatemala, a través del ICTA (19) 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* (18). 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* (18).

Un aspecto muy importante en relación al desarrollo genético/agronómico del maíz, además de su valor proteínico 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 llegan a

producirse en alguna escala en el país la cantidad producida se diluiría por la producción total y el consumo del maíz normal 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 (10), dando productos de alto valor nutritivo y aceptabilidad. Asimismo alimentos de alto valor nutritivo preparados con maíz alto valor nutritivo y proteínas de frijol, algodón y soya se han evaluado (20) así como también con trigo en preparación de pan y derivados (21).

## Materiales y Métodos

Las muestras de maíz común fueron adquiridas en el mercado y correspondía a la variedad *HB-83*, híbrido tropical bastante popular en la costa sur de Guatemala. Los maíces tipo *Proticta* (QPM) corresponden al *Proticta* originario de Zacapa y producido por el ICTA, así como la variedad *HS-2002* de la firma Cristiani Burkard S.A. y producido en Tiquisate. Las muestras se caracterizaron por su composición química proximal (22) y por su contenido de lisina y de triptófano por los métodos de Hurell & Carpenter (23) y Hernández & Bates (24), Villegas et. al. (25) respectivamente. Las evaluaciones biológicas se llevaron a cabo por el método del PER y NPR, Pellet & Young (26), con un total de 8 ratas de 22 a 24 días de edad por grupo.

### • Harina Nixtamalizada

Para este proceso, 4.5 kg de maíz común como del maíz *Proticta* fueron nixtamalizados a través de la cocción alcalina utilizando 1.0% de cal del peso de maíz en suficiente agua por un período de 50 a 60 minutos. Luego se dejó enfriar y en remojo por un período de 12 – 14 horas.

El maíz fue lavado y la cáscara y cal insoluble fueron eliminados. El maíz se molió en un molino de discos y se deshidrató. Una vez deshidratado, el maíz se convirtió en harina y fue utilizada para la preparación de las dietas experimentales, con 90% de harina cruda o nixtamalizada de maíz. Además, se adicionó 5% de aceite, 4% de sales minerales y 1% de mezcla vitamínica completa.

### • Harina Deshidratada por Rodos

Se tomaron 4.5 kg de maíz *Proticta* y normal, los cuales fueron molidos y luego se les agregó 9000 ml de agua. La mezcla se cocinó por 15 minutos y luego se secó con el secador de rodos calentado con vapor a 60 lbs. de presión por pulgada cuadrada.

### • Harina Tostada

En este caso como en los anteriores se utilizó 4500 g de maíz, los cuales fueron tostados a 200°C por 5 minutos. Después de enfriarlo se molió.

### • Harina Germinada y Malteada

Se pesaron 6000 g de maíz *HB-83* y del maíz *HS-2002* (QPM) y se dividieron en 3 partes iguales de 2000 g/cada una. La primera se dejó como grano crudo transformado en harina. La segunda y tercera porción fueron lavadas con una solución de cloro y luego con agua estéril. Después de lavado, el grano fue cubierto con agua estéril por un período de 24 horas. El agua de remojo fue eliminada y el grano

húmedo se dejó germinando 48 horas. Al cabo de este período de tiempo, el lote dos (germinado) fue deshidratado y molido mientras que el tercer lote (malteado) fue sometido a deshidratación a 50°C por una hora, a 75°C por otra hora y a 95°C una tercera hora más y luego fue transformada en harina. El grano germinado fue limpiado del crecimiento vegetativo que se produjo durante la germinación.

experimentales para alimentar ratas recién destetadas (22 días de edad) para llevar a cabo ensayos de calidad proteínica de NPR usando 8 ratas por grupo y 14 días.

La distribución de los cereales y se describe en la sección de resultados. Los resultados de este estudio sirvieron para formular un pan con los ingredientes indicados, en la sección de los resultados.

### • Valor Nutritivo de Mezclas de Maíz QPM y Leche Descremada

El método utilizado para formular mezclas de QPM y leche descremada se basa en el de complementación proteínica. El maíz utilizado fue QPM *HS-2002* previamente germinado/malteado. La distribución de la proteína de las dietas se describe en la Tabla 1. La leche descremada en polvo contenía 35% de proteína y el maíz QPM contenía 9.3% de proteína, que se utilizó para los cálculos de todas las dietas. La evaluación se llevo a cabo por medio del método de NPR indicado anteriormente.

### • Complementación Proteínica Entre el Maíz QPM y el Trigo

Con el propósito de desarrollar alimentos de harinas compuestas de las de trigo con harinas de maíz, común o QPM se procedió a estudiar el efecto complementario entre las proteínas de la harina del trigo y las del maíz. Las mezclas se calcularon en base a un nivel fijo de proteína de 10%, nivel distribuido proporcionalmente entre los 2 ingredientes. Para estos fines se obtuvo un 13% de proteína para la harina del trigo y 9% por la harina al maíz *Proticta* y de 9.5% de proteína para el maíz común. Usando un cálculo similar al utilizado en la complementación del maíz QPM con leche se obtuvieron mezclas de maíz QPM o maíz común y harina de trigo. Con estas mezclas de prepararon dietas

## Resultados y Discusión

La Tabla 2 resume datos de composición química del maíz normal *HB-83* y del *Proticta HS-2002* usado en el presente estudio. El contenido de proteína total fue superior en el *Proticta* que en el normal, así como también los niveles de los aminoácidos lisina y triptófano, que es la característica principal que diferencia al maíz *Proticta* del maíz normal. La calidad proteínica de los maíces procesados por diferentes métodos se detalla en la Tabla 3. Los valores de calidad proteínica fueron superiores para las harinas procesadas del maíz *Proticta* y aparentemente el tratamiento térmico se tradujo en una ligera mejora en calidad. Por ejemplo el *Proticta* crudo dio un PER de 1.67 mientras que el tostado ligeramente dio un valor de 2.03.

Todos los valores de calidad de maíz QPM fueron superiores a los valores de harinas procesadas en forma similar pero del maíz común. La calidad promedio de las harinas procesadas del *Proticta* fue del 66% del valor de caseína y el de las harinas del maíz común el valor fue del 36% del valor de caseína. La Tabla 4 muestra valores adicionales a harinas de maíz *Proticta* y de maíz común germinadas y malteadas. De nuevo la calidad de la proteína permaneció similar entre muestras de diferentes procesos tanto para el maíz normal como para el *Proticta*, pero los de este, la calidad fue superior. En base relativa las harinas

normales dieron un valor relativo al de caseína del 61% mientras que las harinas procesadas del *Proticta HS-2002* fue de 76%.

Estos datos son similares a los publicados anteriormente (11). En estos estudios llevados a cabo en niños se estimó que se requieren 124 g de maíz/día de maíz *Proticta* para balance de nitrógeno y 354 g de maíz común para balance de nitrógeno.

Las harinas de los diferentes procesos son materia prima de diferente funcionalidad tecnológica, lo cual debe estudiarse en el futuro.

Algunas de las harinas evaluadas sirvieron para desarrollar mezclas con leche descremada. Los resultados de complementación proteínica entre maíz y leche descremada se presentan en la Tabla 5. De acuerdo a los valores de NPR se nota un aumento conforme el nivel de leche aumenta en la mezcla, lo cual era de esperar, por ser la calidad de la proteína de la leche significativamente superior a la del maíz. Sin embargo, los últimos 4 valores de NPR (3.82 a 4.37) no son estadísticamente significativas, lo cual puede tomarse para formular una mezcla entre la harina de maíz y la leche descremada. Esta mezcla (Zealac) fue una de 72 gramos de maíz por 28 gramos de leche descremada. Esta fórmula dio un producto con 16% de proteína, 390 cal/100 g y una calidad proteínica superior a la de la caseína y digestibilidad proteínica del 84%. Las pruebas de aceptabilidad de esta formulación, ya sea como atole o como papilla fueron bastante aceptables.

Se llevó a cabo una prueba sensorial de 3 fórmulas de maíz *Proticta* y leche descremada 60/40, 65/35 y 70/30. Los 10 panelistas usados en la prueba sensorial encontraron la mezcla 60/40 como la más aceptable pero no estadísticamente superior a las otras dos.

Otros alimentos desarrollados con el maíz QPM fueron de mezclas con harinas de amaranto, o solo de maíz en comparación con un producto desarrollado sólo de harina de trigo (27).

La Tabla 6 resume evaluaciones biológicas que pretenden establecer la mezcla óptima entre la proteína del maíz, tanto normal como QPM y las proteínas de la harina de trigo. Con respecto a los valores de calidad evaluados por el NPR, se nota que sólo a niveles bajos de harina de trigo con los de maíz, el *Proticta* dio valores superiores. Esto se debió muy probablemente a que el nivel de proteína en la dieta fue superior en el maíz normal que en el *Proticta* y esto se tradujo en valores de NPR mayores. En todo caso la calidad de las mezclas se incrementa conforme el nivel de maíz aumentó o el de trigo disminuye y el incremento llega a ser mayor con el *Proticta* que con el normal. En base a los datos anteriores se prepararon 3 mezclas para panificación que se detallan en la Tabla 7.

Una fue con maíz *Proticta* (460 g) otra fue con la misma cantidad de trigo y una tercera con harina de amaranto (115 g) y con maíz *Proticta* (345 g). Algunos datos de características físicas de los panes se describen en la Tabla 8. Tanto el volumen, como la altura y el diámetro del pan de solo trigo fue superior al de solo maíz y maíz con amaranto debido probablemente a la fermentación que no habiendo gluten en las masas del pan de maíz y maíz con amaranto, no hubo retención de gases y por consiguiente volumen. Sin embargo, el peso del pan de maíz y maíz con amaranto fue ligeramente superior. Finalmente, la Tabla 9 muestra la calidad proteínica de los 3 panes indicando que el de amaranto y maíz *Proticta* es superior al valor de las de únicamente *Proticta* o sólo de trigo.

Es de valor mencionar que el pan de sólo maíz y maíz con amaranto no contiene gluten, lo cual sería muy útil para celíacos.

**TABLA 1**

Formulación de Ingredientes en Complementación entre las Proteínas del Maíz QPM y Leche Descremada

Distribución de la Proteína en Mezcla %		Distribución de Proteína (g) en Dieta		Distribución de Ingredientes, g		Distribución de Ingredientes en g %	
Maíz	Leche	Maíz	Leche	Maíz	Leche	Maíz	Leche
100	0	9.30	0	100	0	100	0
80	20	74.40	1.86	80	5.3	93.8	6.2
60	40	5.58	3.72	60	10.6	85.0	15.0
40	60	3.72	5.58	40	15.9	71.5	28.5
20	80	1.86	7.44	20	22.5	47.0	53.0
0	100	0	9.30	0	26.6	0	100

**TABLA 2**

Composición Química Proximal, Lisina y Triptófano del Maíz Común HB-83 y QPM HS-2002

Nutriente	HB-83	HS-2002
Humedad, %	9.29 ± 0.05	9.45 ± 0.08
Proteína, %	8.10 ± 0.35	10.67 ± 0.31
Grasa, %	4.65 ± 0	5.53 ± 0.20
Cenizas, %	1.30 ± 0.05	1.61 ± 0.07
Fibra, %	1.80 ± 0.32	3.35 ± 0.52
Lisina g/16 g N	1.89 ± 0.006	3.26 ± 0.21
Triptófano g/16 g N	0.31 ± 0.03	0.92 ± 0.04

**TABLA 3**

Calidad Proteínica de Harina de Maíz Común y del Proticta (QPM) Producidas a Través de Diversos Procesamiento

Muestra	Proceso	Aumento en Peso, g*	Alimento Consumido, g	PER
Proticta (QPM)	Crudo	50 ± 6.4	308 ± 27.0	1.67 ± 0.14
	Nixtamalizado	55 ± 7.1	325 ± 19.3	1.72 ± 0.16
	Desh. Rodos	67 ± 12.3	349 ± 46.3	1.91 ± 0.13
	Germinado	43 ± 7.6	260 ± 34.2	1.83 ± 0.13
	Tostado	58 ± 10.0	333 ± 41.8	2.03 ± 0.17
Común (HB-83)	Crudo	17 ± 3.6	216 ± 22.1	1.05 ± 0.13
	Nixtamalizado	18 ± 4.4	236 ± 25.5	0.99 ± 0.17
	Desh. Rodos	21 ± 4.5	218 ± 23.9	1.21 ± 0.21
	Germinado	10 ± 3.1	177 ± 13.8	0.71 ± 0.21
	Tostado	17 ± 3.4	225 ± 14.2	1.01 ± 0.16
Caseína		108 ± 16.5	368 ± 44.8	2.77 ± 0.17

\* 28 días

**TABLA 4**

Calidad proteínica de harinas procesadas de maíz común (HB-83) y QPM (HS-2002)

Muestra	Tratamiento	Aumento en Peso, g*	Alimento Consumido, %	Proteína Digestibilidad	Calidad NPR
HB-83	Crudo	12	99	92.2 ± 1.4	2.76 ± 0.12
	Germinado	10	91	91.7 ± 1.5	2.69 ± 0.07
	Malteado	7	79	89.7 ± 2.9	2.59 ± 0.02
HS-2002	Crudo	40	146	90.9 ± 2.2	3.63 ± 0.10
	Germinado	32	130	89.8 ± 1.9	3.28 ± 0.07
	Malteado	29	128	90.8 ± 1.9	3.24 ± 0.28
Caseína		82	215	97.3 ± 0.8	4.42 ± 0.17

\* 14 días

**TABLA 5**

Complementación Entre las Proteínas del Maíz QPM y la Proteína de Leche Descremada

Distribución de Proteína en Mezcla		Mezcla por Peso, g		Aumento en Peso, g	NPR	E.A.	Digestibilidad de la Proteína
Maíz*	Leche	Maíz	Leche				%
100	0	100	0	23	2.75	6.2	78.0
80	20	93.8	6.2	44	3.43	3.9	77.0
60	40	85.0	15.0	56	3.82	3.3	79.3
40	60	71.5	28.5	64	4.18	2.9	83.8
20	80	49.0	53.0	63	4.34	3.0	85.1
0	100	0	100	62	4.37	3.1	89.0
Caseína		-	-	65	3.88	-	94.0

\* QPM – HS-2002

**TABLA 6**

Complementación Entre las Proteínas de la Harina de Trigo con las de Harina de Maíz QPM y Maíz Común

Cantidad de Ingredientes en la Dieta %		Aumento en Peso, g		Calidad de la Proteína (NPR)			
Harina de Trigo	Harina de Maíz	Maíz Común	Maíz Proticta	Maíz Común	% de Caseína	Maíz Proticta	% de Caseína
65	0	17 ± 5.0	14 ± 2.5	1.80 ± 0.38	41.0	1.71 ± 0.22	38.9
49	23	21 ± 5.5	18 ± 3.5	2.15 ± 0.23	49.0	1.99 ± 0.20	45.3
33	48	25 ± 3.4	22 ± 6.7	2.45 ± 0.14	55.8	2.40 ± 0.23	54.7
16	71	28 ± 7.9	26 ± 4.2	2.65 ± 0.22	60.4	2.86 ± 0.21	65.1
0	90	21 ± 3.1	27 ± 8.6	2.48 ± 0.35	56.5	3.07 ± 0.41	69.9
Caseína		64 ± 9.4		4.39 ± 0.29			

**TABLA 7**

Fórmulas de los Panes Experimentales con Harina Cruda de Maíz Proticta (g)

Ingredientes	Maíz	Maíz + Amaranto	Trigo
Harina Cereal	460	345	460
Harina de Amaranto	-	115	-
Levadura Seca	18	18	18
Sal	9.2	9.2	9.2
Mantequilla	90	90	90
Agua, ml	320	320	320
Clara de Huevo, ml	100	100	100
Azúcar	150	150	150
Leche de Polvo	23	23	23
Miel, ml	25	25	25

Emulsificante (lecitina de soya 2g); Espesante (almidón modificado 2.5 g);  
Antioxidante (ácido ascórbico 0.10 g)

**TABLA 8**

Características Físicas de los Panes Experimentales

Pan de	Altura cm	Volumen ml	Peso g	Diámetro, cm	Fuerza de Compresión	
					Kg	Tiempo (min)
Maíz Proticta	3.8 ± 0.4	616 ± 20	29.7 ± 0.5	3.0 ± 0.6	667	1.8
Maíz Proticta + Amaranto	4.3 ± 0.4	705 ± 20	30.6 ± 0.5	3.5 ± 0.2	675	1.5
Trigo	5.4 ± 0.4	902 ± 20	26.8 ± 0.5	4.1 ± 0.2	601	6.5

**TABLA 9**

Calidad de la Proteína de los Panes con Maíz Proticta

Pan	Aumento en Peso, g	Alimento Consumido, g	NPR	Digestibilidad de la Proteína %	NPR % de Caseína
Maíz Proticta	15 ± 2.9	109 ± 16.2	2.19 ± 0.23	84.3 ± 4.0	40.3
Maíz Proticta + Amaranto	19 ± 4.5	107 ± 10.3	2.48 ± 0.34	15.2 ± 4.4	45.7
Trigo	7 ± 3.1	92 ± 9.9	1.62 ± 0.29	87.4 ± 3.9	29.0
Caseína	76 ± 9.4	165 ± 15.2	5.43 ± 0.28	91.1 ± 0.9	100.

## Reconocimiento

Este trabajo forma parte del Proyecto No.08-03 "Caracterización química, nutricional y tecnológica de nuevas variedades de maíces de alto valor nutritivo", financiado por la línea FODECYT, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONCYT.

## Bibliografía

1. INCAP *Evaluación nutricional de la población de Centroamérica y Panamá* Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) Guatemala, 1969
2. INE/CADESCA/SEGEPLAN *Encuesta de consumo aparente de alimentos* Instituto Nacional de Estadística (INE) Guatemala, 1991
3. Bressani, R. *Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas* Food Revs. Inter. 6: 225-264, 1990
4. Bressani, R. et al. *Corn nutrient losses. Chemical changes in corn during preparation of tortillas* J. Agr. & Food Chem. 6: 770-774, 1958
5. Bressani R. et al. *Contenido de fibra-ácido y neutro-detergente y de minerales menores en maíz y su tortilla* Arch. Lat. Amer. Nutr. 39: 382-391, 1989
6. Kodicek, E., et al. *The availability to pigs of nicotinic acid in tortilla baked from maize treated with lime-water* Brit. J. Nutr. 13: 363-384, 1959
7. Braham, J.E. & Bressani, R. (). *Utilización del calcio del maíz tratado con cal* Nutr. Bromatol. Toxicol. 5: 14-19, 1966
8. Urizar, A.L. & Bressani, R. *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, 1997
9. Bressani, R. et al. *Suplementación con aminoácidos del maíz y de la tortilla* Arch. Lat. Amer. Nutr. 18:123-134, 1968
10. Bressani, R. & Marengo, E. *The enrichment of lime-treated corn flour with proteins, lysine and tryptophan and vitamins* J. Agr. Food Chem. 6: 517-522, 1963
11. Bressani R. *Opaque-2 corn in human nutrition and utilization in:* Brozie, M.G. (ed) *Quality International Symposium on Quality Protein Maize (1964-1994)* EMBRAPA/CN PMS, Seta Logoas, Dec. 1-3, 1994, pp. 41-63
12. Doty D.M. et al. *Amino acid in corn grain from several single cross hybrids* Cereal Chem. 23: 199-204, 1946
13. Mertz, E. et al. *Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm* Science 145: 279-280, 1964
14. Ortega, E.I. et al. *A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making* Cereal Chem. 63: 446-451, 1986
15. Bressani R. et al. *Evaluación en niños de la calidad de la proteína del maíz Opaco-2* Arch. Lat. Amer. Nutr. 19: 129-140, 1969
16. Young U.R. et al. *Protein value of Colombian Opaque-2 corn for young adult men* J. Nutr. 101: 1475-1481, 1971
17. Singh, J. *Studies on assessing the nutritive value of Opaque-2 maize* Final report of the Project Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India, 1977



Dr. Ricardo Bressani  
bressani@uvg.edu.gt  
Director del Centro de Estudios  
en Ciencia y Tecnología de  
Alimentos del Instituto del  
Investigaciones de la  
Universidad del Valle de  
Guatemala



Lic. Anabella Joaquín Godínez.  
anabejoa@mixmail.com  
Graduada de la Licenciatura en  
Ingeniería en Ciencias de  
Alimentos de la Universidad del  
Valle de Guatemala.



M.Sc. María Andrea Specher  
mariaandrea.specher@sanofi-aventis.com  
Graduada de la Maestría en  
Ciencia y Tecnología de Alimentos  
de la Universidad del Valle de Guatemala.

18. FAO *El maíz en la nutrición humana* Colección FAO: Alimentación y Nutrición No. 25, 1993
19. ICTA *Investigación y Desarrollo de Maíz de Alta Calidad de Proteína* Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) Guatemala, Febrero, 2000
20. Bressani, R. & Elías, L. G. *Studies on the use of Opaque-2 corn in vegetable protein-rich foods* J. Agri. & Food Chem. 17: 659-662, 1969
21. Dutra de Oliveira, J.E. & Dasilva, M. L. P. *Nutritive value of Opaque-2 corn and its mixture with hybrid corn and wheat flour* J. of Food Sci. 36: 370-371, 1971
22. AOAC *Official Methods of Analysis* AOAC, Washington D.C. 14<sup>th</sup>. Ed. 1984
23. Hurell R, et al. *Reactive lysine in foodstuffs as measured by a rapid dye-binding procedure* J. of Food Sci. 44: 1221-1231, 1979
24. Hernández, H. & Bates. L. *A modified method for rapid tryptophan analysis in maize* CIMMYT. Research Bulletin No. 13, May 1969
25. Villegas E., et al. *Métodos químicos usados en el CIMMYT para determinar la calidad de proteína de los cereales* El Botan, México, 1982
26. Pellet, P.L. & Young, V. *Evaluación Nutricional de Alimentos Proteínicos* 1980
27. Specher, M. A. *Desarrollo de un producto de panificación apto para ser consumido por personas con esprue celiaco* Tesis del Programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala, 2005