

I. INTRODUCCIÓN

Investigaciones previas han demostrado que la dieta de la población guatemalteca contiene cantidades altas de maíz, cereal que se consume principalmente en forma de tortilla y que constituye aproximadamente más de la mitad de la ingesta proteica diaria, así como de las calorías. Asimismo, se ha demostrado muchas veces que la baja calidad de las proteínas del maíz común se debe a deficiencias en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano.

En el año 1964 fue descubierto que el contenido de los aminoácidos limitantes en el maíz, lisina y triptófano, eran controlados por factores genéticos. El hallazgo de que el gen recesivo conocido como opaco 2, controla la distribución de proteína en el grano de maíz, proporcionando más triptófano y lisina que el cereal de uso común es, por consiguiente, de suma importancia para la nutrición de aquellas poblaciones que acostumbran consumir maíz en su dieta básica, como es el caso de Guatemala. Desde su descubrimiento, el maíz opaco 2 ha sido instrumento de investigación en numerosos estudios llevados a cabo en niños, adultos y animales. Los hallazgos demuestran que el maíz opaco 2 posee calidad proteica no solamente superior a la del maíz común, sino también considerablemente superior a la de los demás cereales.

Por su parte, el pan dulce común es un producto de consumo casi universal en Guatemala, pues es utilizado por más del 80% de los hogares. Sin embargo, se sabe que las proteínas presentes en el pan en mayor cantidad son desafortunadamente aquellas con menor valor biológico, confiriéndole características negativas al pan en cuanto a su valor biológico. Por lo tanto, el pan aun siendo rico en algunos nutrientes presenta carencias especialmente en lo referente a aminoácidos esenciales, lo cual constituye una amenaza para la salud y nutrición de las personas con un alto consumo de este producto acompañado de un bajo consumo de productos de origen animal, ya que no logran llenar su requerimiento diario de proteína.

El propósito del presente estudio fue desarrollar un producto nutricionalmente mejorado teniendo como composición básica una mezcla de harinas de origen vegetal, cuyas características organolépticas fueran adecuadas a los hábitos alimentarios de la población objetivo. Por lo tanto, las materias primas seleccionadas fueron la harina de trigo y la harina de maíz opaco 2, dicha combinación permitió mejorar el valor biológico del pan, sin cambiar drásticamente sus características organolépticas.

II. MARCO TEÓRICO

A. Descripción del consumo alimentario de la población objetivo

1. Disponibilidad de alimentos. Según el Informe de la Situación de Seguridad Alimentaria y Nutricional de Guatemala (INCAP, 2003:23), el suministro global de alimentos es insuficiente para cubrir las necesidades mínimas de la población. Según datos de la Organización de Alimentación y Agricultura (FAO) se conoce que a excepción del año 90, el nivel de suficiencia energética de Guatemala ha sido insuficiente durante los últimos veinte años, marcándose una tendencia negativa desde el año 94, llegando actualmente a una deficiencia per capita de 200 Kcal. diarias según los últimos datos.

Según los datos del Cuadro No. 1, en la década de los noventa, la disponibilidad per capita de maíz y frijol se redujo en un 30% y 42% respectivamente. No obstante, el consumo de estos productos se mantiene en más del 75% de los hogares guatemaltecos. En relación al trigo, el suministro aumentó en 21% durante la última década, lo cual ha incidido en el consumo de derivados, como es el pan dulce, usado por más del 80% de los hogares en todas las regiones. Según Menchu M. (2002:4) de manera general, durante el período de 1990 a 1998 la producción per capita de alimentos se mantuvo igual y se redujo significativamente (40%) la producción per capita de cereales.

Cuadro No. 1 Disponibilidad per capita de granos básicos en Guatemala

Alimento	Disponibilidad año 1990 (Kg./persona/año)	Disponibilidad año 2000 (Kg./persona/año)
Maíz	128.5	90
Frijol	12.5	7.25
Trigo	24	30
Arroz	2.8	4.8

FUENTE: INCAP, 2003:29.

De la disponibilidad per capita de productos de origen animal puede decirse que aumento en el último decenio, de manera que para el año 2003 se disponía más de libra y media de carne a la semana por persona, suficiente para cubrir el mínimo necesario, lo cual se ve reflejado en la modificación de la estructura energética¹, ya que se ha reducido el aporte energético proveniente de los cereales y de frijol, en contraste con el Informe de Seguridad Alimentaria Nutricional en Guatemala (1991:20-21) que para el período de 1965 a 1978 reportó que la más alta proporción de las calorías de la dieta del guatemalteco provenían de los cereales (69%). En el Cuadro No. 2 se exponen los datos relacionados al cambio actual de la dieta, en él se puede apreciar que durante la última década se ha incrementado el aporte energético proveniente de los productos animales, azúcares y grasas. Sin embargo, hay que considerar que no se refiere al consumo

¹ Se llama estructura energética al aporte o contribución de cada grupo de productos alimenticios al contenido o disponibilidad total de kilocalorías

real de todos los sectores ya que la distribución es bastante desigual en la población, además a la fecha no se cuenta con datos de consumo real de alimentos a nivel de hogar y con representación para el país (INCAP, 2003:25).

Cuadro No. 2 Contribución porcentual de los grupos de alimentos a la disponibilidad de energía

Grupo de alimento	Año 1990 (%)	Año 2000 (%)
Cereales	58.4	51.7
Frijoles	4.6	3.0
Productos animales	6.6	9.6
Aceites vegetales	5.7	7.1
Azúcar	15.8	18.5
Otros	8.9	10.1

FUENTE: INCAP, 2003:26.

2. Consumo de alimentos. El informe de la Situación de Seguridad Alimentaria y Nutricional de Guatemala 2003 presenta un análisis del consumo de alimentos tomando como referencia la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos Familiares (ENIGFAM) 1998-1999, en el cual se describe el consumo por grupo de alimentos.

Con relación al consumo de cereales y derivados los utilizados por más del 20% de la población son: pan dulce y francés común, arroz, tortillas, pastas, maíz y galletas. El pan dulce común es un producto de consumo casi universal, pues es utilizado por más del 80% de los hogares en todas las regiones, al cual se añade el uso de otros tipos de pan dulce y pasteles simples, cuyo consumo en las regiones sur y nororiente alcanza proporciones de 17% y 14% respectivamente. Los datos de la Encuesta Nacional de Consumo Aparente de Alimentos 1991 mostraron un menor porcentaje en el consumo de estos productos (INCAP, 2003:55-56).

El consumo de maíz, adquirido como tortillas elaboradas es consumido por más del 50% de la población, indicando la dependencia alimentaria del mismo en la dieta del guatemalteco. En forma de harina de maíz es consumido únicamente por el 5% de los hogares lo cual está relacionado con la prevalencia de elaboración de tortillas artesanalmente. Durante el periodo de 1972 a 1987 el maíz fue considerado el cereal de mayor consumo, constituyendo el alimento primordial de la alimentación, por el contrario el consumo de arroz fue el más bajo, situación que cambio para el periodo de 1998 a 1999 en el que este último es utilizado por más del 65% de la población, exceptuando la región metropolitana (INCAP, 2003:56).

Es conocido que el frijol ha sido uno de los alimentos básicos tradicionales de la dieta del guatemalteco, así lo demuestran datos entre 1965 a 1978 en el cual este alimento proporcionaba el 10% de la energía total y constituía la principal fuente de proteína vegetal. Según los últimos datos disponibles (ENIGFAM) a excepción de la región metropolitana donde solamente el 52% informaron el consumo de esta leguminosa, el resto de regiones registró el consumo en más del 75% de los hogares, demostrando estos datos la importancia actual que mantiene el frijol en la dieta nacional, especialmente como complemento del

maíz. Con los datos anteriores se infiere que la dieta básica del guatemalteco se mantiene desde hace varios años por una asociación de cereal y leguminosa. El maíz es consumido de manera directa, como tortilla o bebida (atol); el frijol se come sólo cocido o con grasa animal o vegetal.

En cuanto a carnes, las de mayor consumo nacional son la carne de res (71%) y la de pollo (65%), cifras inversas a las reportadas en la Encuesta de Consumo Aparente de 1991. En cuanto al consumo de carne de cerdo se encontró bajo en todas las regiones (menos de 20%).

3. **Diferencias urbano rurales en la ingesta de alimentos.** Existe evidencia que, la urbanización y la modernización de las ciudades, así como la crisis económica y social, traen consigo cambios importantes en el modo de vida y la cultura general de las poblaciones. Uno de los componentes más importantes de los cambios referidos es probablemente el consumo de alimentos, pues mientras que en el sector rural la dieta depende mayormente del autoconsumo de unos pocos alimentos, en el sector urbano el consumo generalmente se torna más dependiente de la disponibilidad de ingreso y bienes en el mercado (Alarcón y Adrino, 1992:327).

El análisis de la ingesta de alimentos presentada en esta sección provienen de datos de dos estudios realizados en poblaciones urbanas y rurales de Guatemala durante 1987 (Alarcón y Adrino; INCAP, 2003). Derivado de estos estudios se determinaron diferencias existentes en el patrón alimentario entre ambos sectores, representados en el Cuadro No. 3. En lo que se refiere al consumo de productos de origen animal como lácteos, huevos y carnes se encontró que el porcentaje de familias urbanas equivale a más del doble de los valores notificados por las familias rurales. Con relación al consumo de maíz Alarcón y Adrino (1991:330) reportan que es mayor en el medio rural en contraste con el área urbana. Situación inversa con relación al consumo de frijol, ya que es mayormente consumido por las familias urbanas que las rurales.

Debido a la menor disponibilidad de alimentos para la venta en el área rural, dato reportado para el año 1987, el consumo de alimentos de consumo popular, diferentes al maíz y frijol, que dependen en gran medida de la compra en el mercado (pan, arroz, aceites, etc.) son consumidos mayormente en las áreas urbanas.

Cuadro No. 3 Consumo de alimentos por adulto en familias urbanas y rurales de Guatemala

Alimento	Familias urbanas consumidoras (%)	Familias rurales consumidoras (%)
Lácteos	68.0	16.7
Huevos	69.0	37.0
Carnes	62.0	35.1
Frijol	83.5	58.5
Maíz	31.0	97.4
Derivados de maíz	82.0	5.2
Pan	94.0	13.1
Azúcar	100.0	96.7
Aceites y grasas	92.0	54.3

FUENTE: Alarcón y Adrino, 1987:331

En lo que concierne al aporte energético y proteínico Alarcón y Adrino (1991:331-333) reportan que en el sector campesino las familias tienen un nivel de ingesta media mayor que aquellas que viven el sector urbano. Sin embargo, para ambos sectores la ingesta media es insuficiente. En cuanto a las proteínas, en ambos grupos de familia los niveles de ingesta diaria sobrepasan al valor de 68 g recomendados por el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) para un adulto.

Según lo expresado en el Cuadro No. 4, se observó que casi el 70% de las calorías totales ingeridas por un campesino adulto promedio, proviene del consumo de maíz, mientras que en el área urbana el consumo de maíz solamente explicó el 27% del total de calorías. En el caso de las proteínas consumidas por las familias campesinas tiende a concentrarse entre el maíz y el frijol, que juntos suman casi el 70% de proteínas. La situación es diferente en el área urbana, donde los alimentos de origen animal aportan más del 30% de las proteínas, siguiéndole el frijol con 25% y el maíz con 21% (Alarcón y Adrino, 1991:333-334).

Cuadro No. 4 Porcentaje de kilocalorías y proteína aportadas alimento, según área urbana y área rural

Alimento	ENERGÍA		PROTEÍNA	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Lácteos	4.3	0.7	7.6	2.0
Huevos	2.7	1.0	6.1	2.5
Carnes	4.3	2.7	16.5	11.7
Frijol	11.9	6.1	24.8	14.2
Derivados de maíz (tortillas y tamales)	27.2	69.8	21.6	57.5
Pan	16.9	1.1	11.7	0.6
Azúcar	12.5	7.7	-	-
Aceites y grasas	5.7	1.1	-	-

FUENTE: Alarcón y Adrino, 1991:332

Como se mencionó anteriormente, se determinó que las familias urbanas tienen un aporte calórico diario menor al área rural, sin embargo, en el sector urbano existe una diversidad mayor de alimentos, así como una mayor cantidad de aminoácidos esenciales derivados de la proteína animal ingerida.

4. Consumo y contribución de calorías y proteínas del maíz a las dietas humanas. Datos de la FAO de 1962 demostraron que de las dietas de 64 países, en base de promedio por país, 50 tenían una ingesta de maíz de menos de 100 g por persona, por día, y 14 presentaban ingestas diarias tan altas como 350 g por persona. Dentro de estos últimos países se mencionaron algunos países de América Latina, como México y Centroamérica.

Los datos más recientes con relación a este tema fueron reportados por la Encuesta Dietética de Centroamérica y Panamá 1969 (OPS-INCAP, 1969), en los cuales se informa que el consumo de este alimento disminuye de Guatemala a Panamá y se encontró que la ingestión de maíz es mayor en las áreas rurales que en el sector urbano, tal como lo muestra el Cuadro No. 5.

Cuadro No. 5 Ingestión de maíz en el área rural y urbana de los países de Centroamérica

País	Consumo de maíz (g/día)	
	Rural	Urbano
Guatemala	318	102
El Salvador	352	166
Honduras	225	135
Nicaragua	131	56
Costa Rica	41	14
Panamá	4	4

FUENTE: INCAP, 1969

Datos del INCAP de 1969 (Encuesta Dietética de Centroamérica y Panamá), el maíz provee hasta un 59% y un 45% de la ingestión diaria de calorías y proteínas respectivamente, las cantidades son mayores especialmente en la población indígena, datos presentados en el Cuadro No. 6. Según Bressani (Bressani, 1991) en Guatemala el maíz y sus derivados proveen un promedio del 65% de las calorías diarias y 53% de la ingesta proteica, además el 69% de calcio, 51% del hierro, 15% de la vitamina A, 62% de tiamina, 36% de riboflavina y 54% de la niacina.

Cuadro No. 6 Contribución del maíz a la ingestión diaria de calorías y proteína en el área rural de los países de Centroamérica

País	Calorías/día		g. proteína/día	
	Maíz	Total	Maíz	Total
Guatemala	1148	1994	27.0	60
El Salvador	1271	2146	29.9	68
Honduras	812	1832	19.1	58
Nicaragua	472	1986	11.1	64
Costa Rica	148	1894	3.5	54
Panamá	14	2089	0.3	60

FUENTE: INCAP, 1969

Un análisis más profundo del consumo de maíz en áreas rurales de Guatemala se presenta en el Cuadro No. 7, en el cual la ingesta de maíz se relaciona con la edad. Estos datos indican que la ingestión principia a edad temprana con 64 g por día, siendo mayor conforme aumenta la edad del individuo, alcanzando un promedio nacional de 318 g por día. La importancia del maíz aumenta con la edad. Entre 1 y 2 años el maíz aporta el 27% de la ingestión de proteína y el 33% de calorías. Según estudios llevados a cabo en la década de los sesenta (Bressani, 1991:806) los niños de 1 a 5 años de edad consumían de 64 a 120 g de tortilla al día, supliendo entre el 33 al 44% de su ingesta energética diaria y del 20 al 28% de la ingesta proteica. En los adultos el maíz contribuye con el 45% de la proteína y el 57% de las calorías. Esta información indica que la proteína del maíz, en términos de cantidad y calidad, es de gran significado nutricional.

Cuadro No. 7 Relación entre la edad, el consumo de maíz y su contribución a la ingestión diaria de calorías y proteínas en el área rural de Guatemala

Edad (años)	Consumo maíz (g/día)	Ingestión de proteína			Ingestión de calorías		
		Maíz (g/día)	Total (g/día)	%	Maíz por día	Total por día	%
1 a 2	64	5.4	20.0	27	231	699	33
2 a 3	86	7.3	21.7	34	310	787	39
3 a 4	120	10.2	27.9	36	433	981	44
4 a 5	89	7.6	23.3	33	321	819	39
Adultos	318	27.0	60.4	45	1148	1994	57

FUENTE: Flores, M., 1972

B. Descripción del producto alimenticio

1. El pan de trigo en Guatemala. En Guatemala existe una amplia variedad entre todos los tipos de panes que se producen en forma regular en el mercado. Existen harinas duras y suaves, dependiendo el tipo de trigo del que proceden, de las cuales se producen diferentes tipos de pan. De los panes producidos con harinas suaves, Morales (1994) indica que se conocen aproximadamente 12 formas de pan dulce, desde panecillos simples conocidos como pan de manteca, panes tostados y champurradas, hasta las conocidas tortas que son panes dulces con mayor adición de azúcar y mejoras en el proceso de elaboración. Entre las formas de pan dulce más conocidas por los guatemaltecos están: conchas, molletes, cachos, gusanos, cortadas, batidas y otras de menor consumo. Es importante destacar que los panes elaborados con harinas suaves poseen un nivel proteínico inferior a un producto elaborado con harina dura (Morales, 1994: 20).

Además de los panes mencionados anteriormente existen aquellos elaborados a partir de harinas duras, que usualmente acompañan las comidas. En este tipo de panes la variedad es mayor, ya que dentro de las distintas formulaciones que existen, hay adversas formas que los han caracterizado durante años. Dentro de esta variación está el pan de rodaja (pan sándwich), pan de leche (hamburguesa), panes desabridos (pan francés) y otros (Morales, 1994:21).

2. Definición del pan tipo muffin. De aquí en adelante, llamaremos muffin al tipo de pan semejante al cubilete en forma y tamaño, pero un poco menos dulce. Charley (1987:267) define los muffins como panqués elaborados a través de un batido de dos partes de harina con una parte de líquido. Los muffins se caracterizan por tener una corteza delgada, de color café-oro uniforme. La parte superior debe ser simétrica, con un contorno rugoso semejante a la cabeza de una coliflor. Los agujeros del migajón deben ser redondos y de tamaño mediano, y las paredes de las células muy delgadas. El muffin debe ser ligero y el migajón suave. Las características de un muffin batido incompletamente son bajo volumen, migajón grueso, la parte alta plana y manchas café de soda sin disolverse. Los indicadores de

un batido de muffin excesivo son una corteza pálida y lisa y un extremo superior elevado, características no deseadas en el producto final (Charley, 1987:270).

Existen varias fórmulas de muffin que coinciden con las formulaciones de panqués en términos de dulzura, pero la mayoría de muffins son ligeramente más parecidos al pan en textura. Los muffins tienen una masa más irregular, son más elásticos y menos desmenuzables comparados a los panqués (Matz, 1992:334).

Es posible realizar una gran variedad de muffins, todo tipo de frutas y vegetales puede ser añadido a la fórmula básica para dar una mayor variedad al consumidor. Los productos lácteos como mantequilla, queso, yogurt, crema agria, pueden ser utilizados para mejorar el sabor u obtener un producto de mejor calidad. Las especias u otros saborizantes otorgan la oportunidad para nuevos productos. (Matz, 1992:335)

a. **Proporciones.** Una receta básica para realizar un muffin contiene 1 huevo por cada 2 tazas de harina. Las proporciones de grasa y azúcar aumentan desde un muffin magro hasta uno rico en grasa. La mayoría de las recetas de grasa y azúcar señalan entre 1 ½ a 2 cucharaditas de polvo de hornear por cada taza de harina (Prera, 2001:65).

b. **Manipulación.** El polvo de hornear debe cernirse con la harina o mezclarse completamente para asegurar una distribución uniforme, esto es esencial para formar células de gas uniformes, *i.e.* el grano en el migajón del muffin horneado. El huevo y la leche deben mezclarse completamente sin llegar a formar una espuma. La proteína del huevo se necesita principalmente como un ingrediente estructural o de fijación y no como medio para incorporar aire. Si el huevo no se mezcla completamente con la leche, se distribuirá desigualmente y el migajón alrededor de las celdas de gas será grueso y burdo. El método del muffin para combinar ingredientes señala la adición a los ingredientes secos de la grasa en el estado líquido al mismo tiempo que la leche y los huevos se mezclan y se añaden. Como alternativa, la grasa puede cortarse en los ingredientes secos cernidos, antes de añadirse los líquidos (Pyler, 1988:800; Charley, 1987:268).

La relación de líquido a harina en el batido del muffin, es ideal para el desarrollo del gluten, especialmente cuando se utiliza harina para todo uso. Es fácil sobrebatir el batido del muffin y desarrollar más gluten del deseado. Los muffins hechos de harina de trigo suave toleran más el mezclado y son aún más finos y suaves. El batido de muffins bajo en grasa o azúcar, debe batirse sólo lo suficiente para humedecer escasamente los ingredientes secos. A pesar de todo, se formarán grumos. De otra forma, se formará mucho gluten y el batido será demasiado elástico. Las burbujas de bióxido de carbono atrapadas en un batido demasiado elástico se retendrán y se harán muy grandes (Prera, 2001:40; Charley, 1987:268).

El batido del muffin requiere algo de gluten para tener las propiedades de retención de gas esenciales para lograr un buen volumen en el producto horneado. Es un arte conocer por la vista y el tacto el batido del muffin en su momento para detener el mezclado. Una vez que el batido del muffin ha sido mezclado, se debe transferir a las tazas de hornear engrasadas o de teflón, en un solo movimiento. De otra forma, la mayor parte del bióxido de carbono generado dentro del batido se perderá durante la

transferencia. El batido puede permanecer en el recipiente de hornear durante varios minutos antes de hornearse, sin detrimento de la calidad del producto horneado (Charley, 1987:270).

c. Horneado. Los muffins se hornean en un horno caliente a 425°F o 218°C. El tiempo de horneado depende del tamaño de los recipientes de muffin así como del material del que están hechos los moldes. El diámetro pequeño de los moldes para muffin y la alta temperatura de horneado, pueden contribuir a la formación de un migajón asimétrico (Charley, 1987:270).

Los muffins pueden ser removidos del recipiente más fácilmente si se les permite permanecer durante un minuto o dos después de salir del horno. El vapor que se condensa facilita su remoción. Dejándolos mucho tiempo en los recipientes sin embargo, causará que se humedezcan. Para evitar la condensación de la humedad, así como enfriar los muffins y otros panes calientes se sirven en un recipiente o charola cubiertos con una servilleta de tela (Prera, 2001:42).

3. Metodología básica para preparar pan dulce. La panadería o panificación es una de las ocupaciones más antiguas, pero su desarrollo como industria moderna data de fines del siglo pasado. El pan se hace con una masa fermentada de harina, levadura, sal y agua. Según Morales (1994:25), el procedimiento general para la elaboración de pan dulce conlleva los siguientes pasos esenciales:

- Pesado de los ingredientes
- Mezcla de los ingredientes
- Afinado de la masa
- Formación de bolas de masa
- Figuración y decoración
- Reposado
- Horneado

El procedimiento tiene variaciones según el tipo de pan dulce que se desee elaborar. Sin embargo, siempre debe tomarse en cuenta ciertos puntos críticos en la elaboración de pan dulce como el batido, que es la incorporación de aire a la mezcla de grasa con azúcar. Dicha incorporación ayuda a que la grasa quede uniformemente repartida en la mezcla, por lo que al hacerla debe agitarse muy rápidamente y en forma continua hasta que la mezcla vaya adquiriendo una consistencia muy fina (Morales, 1994:26). Otro punto de consideración es durante el afinado de la masa, ya que este tipo de masas no necesita mucho tiempo de amasado, sino solamente hasta formar una mezcla homogénea de ingredientes.

4. Ingredientes en la elaboración del pan

a. Harina de trigo. La harina es el ingrediente más importante en la panadería y se denomina el cuerpo del pan, sin ésta es imposible elaborarlo, por lo que es su componente más importante (Kira y Othmer, 1962:630).

La harina es el producto que resulta de la molienda de trigo, es un polvo cuyo color varía de acuerdo al tipo de trigo utilizado. Según Prera (2001:27) se prefiere la harina de trigo para la obtención de un pan

esponjoso, a que al ser mezclada con agua, y bajo condiciones apropiadas, origina una masa elástica, cohesiva, semejante al chicle, que retiene el gas formado en la masa por la acción del calor en el horno.

Las harinas que se utilizan para panificación están compuestas de varios elementos importantes, los cuales se presentan en el Cuadro No. 8.

Cuadro No. 8 Composición de las harinas utilizadas en panificación

Componente	Composición
Almidón	69%
Proteína de gluten (insoluble)	11%
Proteína soluble	1%
Grasa	1%
Azúcares	2.5%
Sales minerales (cenizas)	0.5%
Humedad	15%

FUENTE: Prera, 2001.

1) Tipos de harinas de trigo. Las harinas se clasifican de acuerdo al tipo de trigo del que se obtiene. Existen dos divisiones de harinas según el trigo del que provienen: harinas duras y harinas blandas o suaves (Charley, 1987:208). Las características propias de cada una de ellas se describen en el Cuadro No. 9.

Cuadro No. 9 Características y ventajas de los tipos de harina de trigo

Tipo de Harina	Características	Ventajas en panificación
<i>Harina de trigo duro</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado grado de proteína - Color crema - Gran poder de absorción - Bajo contenido de cenizas - Proteínas glutínicas de calidad superior 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor volumen - Proporciona una miga más firme - Mayor tolerancia a la fermentación - Mayor valor nutritivo
<i>Harina de trigo blando</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo porcentaje de proteínas - Bajo poder de absorción - Color más claro - Sedosas al tacto 	<ul style="list-style-type: none"> - Proporciona mayor economía - Pan con miga más compacta - Menor valor proteínico

FUENTE: Prera, 2001:28.

Una harina especial para panificación debe tener las siguientes características (Charley, 1987:209):

- Color blanco-crema
- Producción de volumen
- Alto poder de absorción
- Uniformidad

Las harinas también pueden ser clasificadas según su contenido de proteínas (Charley, 1987:210):

- De 6 a 8% de proteínas, para pan dulce y pasteles
- De 11 a 15% de proteínas, para pan blanco, pan francés
- De 15% en adelante de proteínas, para pastas como macarrones, espaguetis, etc.

2) Propiedades de la harina de trigo. Uno de los componentes más importantes de la harina, por su cantidad y función es el almidón. Respecto a esto, Prera (2001:29) afirma que el almidón es un factor determinante es la blandura de la miga, ya que al entrar en contacto con el agua, hidrata la masa para el amasado, provee un sustrato para la fermentación y mientras más empaquetados los gránulos de almidón hay más unión entre ellos (adhesión) y mayor solidez de la miga. El contenido de almidón varía inversamente con el de la proteína en la harina, es decir, mientras más almidón menos proteína en la harina, por lo tanto, en panificación se buscan valores intermedios de almidón y proteína.

Las proteínas de la harina son la fuente de gluten de la masa. Esto se debe a que entre las proteínas de la harina están la gliadina y la glutenina, las cuales al hidratarse forman el gluten. Este complejo tiene propiedades elásticas y de esponjamiento de gran valor, para la fabricación del pan. La gliadina le da al gluten plasticidad y elasticidad, mientras que la glutenina le da solidez y estructura. La cantidad de gluten que se obtiene de la harina depende de la naturaleza de los trigos, de la finura de la harina: cuanto más fina menor el porcentaje de gluten y cuanto mayor es la cantidad de gliadina (proteína insoluble) más blando es el gluten (Prera, 2001:29).

Fisher y Blender (1972:94) explican que el gluten de la masa se infla formando burbujas por la expansión del gas que provienen de la fermentación de la levadura; luego se endurece con el calor dando una textura ligera y esponjosa. Para hacer un pan ligero y esponjado, es indispensable usar un cereal que contenga gluten como el trigo o el centeno.

Entre la grasa que está presente en la harina de trigo, se encuentran los carotenos que dan color a la harina, las harinas poco finas tienen mayor cantidad de grasa que las muy finas. Los azúcares presentes tienen la composición y propiedades de caña y maltosa. Las sales minerales de la harina tienen un papel en la fermentación contribuyendo a la alimentación de la levadura y al mismo tiempo influyen en la formación del gluten (Prera, 2001:30).

Se puede elaborar harina a partir de otros cereales y leguminosas, pero la composición específica del tipo de proteína del trigo es responsable de la estructura del pan. Estas harinas se utilizan en conjunto con la harina de trigo, ya que esta última es más apta para la formación del gluten. Entre los tipos de harina se pueden mencionar: harinas integrales, de centeno, de soya, de avena, de maíz, de arroz (Prera, 2001:31).

Otras propiedades examinadas en la harina de trigo son (INTECAP, 2001:5):

- Color: depende fundamentalmente de la naturaleza de los trigos de donde proceda, de la eficacia del sistema de limpieza del trigo, del grado de extracción, de finura y de si se han empleado o no tratamientos químicos de decoloración.
- Extracción: es la cantidad de harina que se obtienen después de la molienda. Normalmente por cada 100 Kg. de trigo se obtienen de 72 a 76 Kg. de harina.
- Fuerza: se define como la medida de la capacidad de una harina para producir una pieza de pan bien crecida y de gran volumen.
- Tolerancia: se puede definir la tolerancia a la fermentación como la capacidad de una harina para soportar un proceso de fermentación durante un periodo de tiempo superior al que normalmente es necesario para alcanzar el grado correcto de maduración donde todavía un pan satisfactorio.

- Absorción: la propiedad de absorber la mayor cantidad de agua dando un producto de características aceptables. En general las harinas elaboradas a partir de trigo de buena calidad proteínica son las que tienen mayor absorción.
- Blanqueo: el grado de blancura de la harina.
- Enriquecimiento: la mayoría de molinos industriales enriquecen las harinas con vitaminas y minerales. El pan elaborado con harinas enriquecidas tiene un mejor valor nutritivo.

b. Maíz. Pequeñas cantidades de productos derivados de la molienda del maíz se utilizan como ingredientes en la preparación de panes especiales. La harina de maíz se utiliza en panificación para panes especiales y galletería. En la fabricación de pan, se debe mezclar la harina de este cereal con la de trigo, sin superar el 25% de la cantidad total (Prera, 2001:31).

La composición química del maíz, como la de otros cereales puede sufrir variaciones dependiendo de factores en general ambientales. Como valores medios pueden señalarse: 10% proteínas, 4.5% de lípidos, 75% glúcidos, 1.3% de sales minerales (Quaglia, 1991:423).

Según Quaglia (1991:424), en algunos países la harina de maíz se utiliza pura o mezclada con la de trigo para la elaboración de pan; al ser más pobre en gluten, resulta que tiene cualidades panificables inferiores respecto a la del trigo, y el pan que se obtiene es de deficientes características organolépticas. Una de las prácticas que se ha propuesto para abordar este problema es la adición de ácido ascórbico como mejorante, a razón de 5 mg/g, con lo que es posible obtener un producto terminado aceptable cuando el maíz no supera el 25% de la mezcla. El valor nutritivo del producto obtenido uniendo los dos cereales es mejor que el de cada uno por sí solo.

Debido a la diferencia en la composición proteínica del maíz comparado con el trigo, características como el volumen, estructura, miga, rendimiento y sabor del pan son inferiores al prepararse por combinaciones de ambos cereales. Los principales problemas durante la preparación se deben al menor poder de absorción afectando la formación del gluten y por consiguiente el volumen final del producto.

c. Azúcar. Para los trabajos que se realizan en panificación, se pueden clasificar los azúcares en dos categorías principales: azúcares simples y dobles. Las simples son provenientes de jarabes naturales como la miel, melazas, maple y son fermentables mediante la levadura cuando se usan en masas. Los azúcares dobles son elaboradas a partir de remolacha azucarada y caña de azúcar (Prera, 2001:34).

Las funciones principales de los azúcares añadidos a las masas para pan son:

- Alimento para la levadura: el azúcar añadido es rápidamente consumido por la levadura, mientras tanto, las enzimas convierten el azúcar complejo en mono y disacáridos, los cuales pueden ser consumidos por la levadura, de esta manera se tiene una fermentación más uniforme (Prera, 2001:36).
- Colorante del pan: su color café característico, proviene de la caramelización de los azúcares residuales que se encuentran en la corteza de la masa, después de que la misma se ha fermentado

(Charley, 1987:210).

- Actúa acentuando la formación del aroma y del color de la superficie.
- Aumenta el rango de conservación, ya que permite una mejor retención de la humedad, manteniendo más tiempo su blandura inicial y retrasando el proceso de endurecimiento (Prera, 2001:36).

Los porcentajes recomendables de azúcar en panificación son los presentados en el Cuadro No. 10:

Cuadro No. 10 Porcentajes recomendados para azúcar

Tipo de pan	Porcentaje
Pan de molde	4-6%
Pan francés	0-1%
Pan integral	0-1%
Pan dulce	25-28%

FUENTE: Prera, 2001.

d. Polvo de hornear. El polvo de hornear es una mezcla de distintos compuestos que tienen la propiedad de generar gas cuando se ponen en contacto con agua y se utiliza en lugar de la fermentación con levaduras (Charley, 1987:212).

El polvo para hornear sirve para realizar fermentaciones químicas en los productos. La fermentación química se realiza gracias a los compuestos químicos, que expanden y esponjan la masa en presencia de calor. Con ello se evita el tiempo de reposo para la fermentación biológica (Prera, 2001:39).

e. Lácteos. El grupo de productos y derivados lácteos, lo componen la leche, en sus diferentes modalidades, y todos aquellos productos que se han elaborado a partir de ella (Quaglia, 1991: 421).

Con relación a las funciones desempeñadas por la leche en la panadería son (Prera, 2001: 42):

- Mejorar el aspecto y color del pan, ya que la lactosa se carameliza.
- Ayuda a que se forme una corteza firme, ya que la leche capta humedad y la retiene, lo que evita que la humedad se vaya de la corteza del pan al medio ambiente.
- Aumenta el valor nutritivo del pan, gracias a la caseína, proteína que se encuentra en la leche.
- Mejora la conservación del pan.
- Mejora el sabor y el aroma del pan.

f. Huevos. El huevo es un ingrediente importante en la composición de algunos tipos de panes y de casi todos los productos de bollería y pastelería (Prera, 2001:43).

Según Charley (1987:254) los huevos batidos sirven como medio de incorporación de aire en los batidos y masas. Los huevos contienen proteína, la cual contribuye a la elasticidad del batido y a la estructura de productos horneados como muffins, panecillos y bollos de crema. La yema de huevo contiene un material graso que puede unir o emulsificar dos líquidos incompatibles, el agua y la grasa derretida.

g. Grasas. Las grasas son una de las sustancias que con más frecuencia se emplean en panadería y pastelería. Las buenas grasas no solamente enriquecen al pan, sino que también cubren la miga con una especie de película que retiene la humedad, aumentando la vida útil del pan (Prera, 2001:44).

Entre las grasas utilizadas se encuentran: mantequilla, margarina, grasas vegetales y aceite. Según Charley (1987:253) las funciones de la grasa en panadería son las siguientes:

- Mejora la apariencia, la grasa se reparte entre los hilos del gluten en la masa produciendo un efecto lubricante, obteniendo una masa suave y agradable y la uniformidad de la masa es más pronunciada.
- Aumenta el valor nutritivo del producto.
- Mejora la conservación, la grasa disminuye la pérdida de humedad y ayuda a mantener fresco el pan.
- Mejora la corteza, la suaviza y la hace más tierna.
- Mejora el volumen, en cantidades superiores al 3% aumenta el volumen del pan.

Por otra parte, el exceso de grasa puede traer efectos no deseados tales como: pérdida de volumen, textura grasosa, gusto grasoso y facilidad a la rancidez (Quaglia, 1991:420). Las cantidades de grasa a utilizar varían según la receta, algunos porcentajes se desglosan en el Cuadro No. 11:

Cuadro No. 11 Porcentajes recomendados para grasa

Tipo de pan	Porcentaje
Pan francés	1-3%
Pan de molde	4-6%
Pan integral	1-2%
Pan dulce	25-28%
Pan blando	6-8%

FUENTE: Prera, 2001

C. Evaluación nutricional del producto

1. Valor nutritivo. Los Alimentos Nutricionalmente Mejorados (ANM) son aquellos alimentos a los cuales se les ha mejorado la calidad de su proteína mediante la técnica de complementación y son de alto contenido energético y fuente de micronutrientes (INCAP, 2000:1). Dentro de las características principales de los ANM están (INCAP, 2001:1):

- Su composición básica debe ser de mezclas de ingredientes, especialmente harinas de origen vegetal, cuyas características organolépticas sean adecuadas a los hábitos alimentarios de la población objetivo.
- Nutricionalmente balanceados.
- Son industrializados, es decir, que las materias primas se han modificado por la acción de los procesos de fabricación.

Los ANM deben cumplir con los siguientes requerimientos (INCAP, 2001:1):

- Una calidad proteínica superior al 80% de la calidad proteínica neta de la leche de vaca.
- Tendrán una composición de aminoácidos similar al patrón FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- El aporte de micronutrientes permitirá suministrar el 75% de la recomendación dietética diaria del INCAP en términos de vitamina A, hierro y 50% de la recomendación dietética diaria del INCAP para zinc y vitaminas del complejo B.

Algunos de los ejemplos de ANM que actualmente se utilizan en diversos países de la región centroamericana incluyen (INCAP, 2001:1):

- Bebidas: harinas para atoles o cremas, refrescos, horchata, pinol.
- Productos de panificación: pan, galletas de diversos tipos, muffins, bizcochos, pastelitos, quequitos.
- Harina para tortillas y pupusas nutricionalmente mejoradas
- Galleta nutricionalmente mejorada: utilizada en varios de los programas de alimentación escolar.

Particularmente, el pan es uno de los alimentos más completos y que aporta cierta cantidad de todos los macronutrientes: proteína, grasa y carbohidratos, por ello es utilizado como complemento en la alimentación la mayoría de la población. El contenido de estos nutrientes variará dependiendo del tipo de pan, en el Cuadro No. 12 se describe la composición media de 100 g de pan blanco:

Cuadro No. 12 Composición de 100 g de pan blanco

Componente	Cantidad
Agua	30.0 g
Proteína	9.0 g
Lípidos	20.0 g
Carbohidratos	58.5 g
Calorías	279 Kcal.

FUENTE: Quaglia, G. 1991

Entre los carbohidratos, el almidón se encuentra en mayor porcentaje, pero están también presentes las dextrinas, disacáridos como maltosa y monosacáridos como la glucosa. Estas moléculas más simples de carbohidratos proceden de la degradación enzimática del almidón que se produce durante la fermentación de la masa y durante la cocción, confiriendo además a la parte superficial del producto, un aspecto tostado, olor característico y una apetecible corteza crujiente (Quaglia, 1991:418).

Según Bennich (1967:300), el contenido de cada uno de los carbohidratos depende del tipo o de la cantidad de enzimas presentes en la harina, del tiempo de fermentación, y de una adición de glucosa o sacarosa.

En un alimento es importante, desde el punto de vista nutritivo, determinar no sólo la cantidad de proteínas presentes sino también el tipo y la cantidad de aminoácidos que componen la proteína. El Cuadro No. 13 hace referencia a la composición en 100 g de proteína del pan y 100 g de éstas en el huevo, entre paréntesis, en el Cuadro, se indica la relación entre el contenido de los distintos aminoácidos presentes en los dos tipos de proteínas: el valor más bajo de tal relación determina el aminoácido

limitante, la media de las relaciones relativas a todos los aminoácidos esenciales definen el Índice de Aminoácidos Esenciales (AAE) (Quaglia, 1991:418).

Cuadro No. 13 Composición media en aminoácidos esenciales de la proteína del pan y del huevo (g/100 g de proteína)

Aminoácido	Huevo	Pan
Lisina	6.83	1.99 (0.20)
Treonina	4.54	2.51 (0.55)
Valina	1.59	1.08 (0.68)
Metionina	3.07	1.38 (0.45)
Isoleucina	5.19	3.90 (0.75)
Leucina	8.21	7.16 (0.87)
Fenilalanina	5.05	4.78 (0.95)
Índice de AAE	100	58
Aminoácido limitante	-	LISINA

FUENTE: Quaglia, 1991.

De la relación entre la composición en aminoácidos de la proteína del huevo y del pan se puede establecer que el aminoácido limitante es la lisina y que el índice de AAE es igual al 58%, siendo éste un valor inferior al de los alimentos de origen animal (mayor del 80%), pero comparable con otros alimentos de origen vegetal, entre los cuales esta la cebada, el maíz y algunas hortalizas (Quaglia, 1991:420; Bennich 1967:327).

De los datos anteriores es posible afirmar que las proteínas del pan no entran dentro del grupo de las de elevado valor biológico, sin embargo, hay que considerar que el pan difícilmente se consume solo, sino que normalmente se ingiere con alimentos de origen animal. Esta integración provee un aumento notable en el valor biológico (Quaglia, 1991:420).

Refiriéndose a las proteínas, Pyler (1988:750) menciona que es importante determinar qué tipos de las mismas están presentes en el pan, lo cual se puede obtener mediante un fraccionamiento basado en la solubilidad en agua. Así, ha sido posible destacar la presencia de cuatro tipos de sustancias proteicas, de las cuales dos son solubles en soluciones salinas diluidas y dos en disolventes polares.

Cuadro No. 14 Sustancias proteicas presentes en el pan

Solubilidad	Proteína	Contenido en el pan (%)
<i>Soluciones salinas diluidas</i>	Albúmina	12
	Globulina	4
<i>Disolventes polares (alcohol y cetonas)</i>	Gliadina	44
	Glutenina	40

FUENTE: Pyler, 1988:750

Entre estos componentes del pan, las dos fracciones insolubles en agua, tienen una gran importancia tecnológica porque en contacto con el agua se unen con enlaces intermoleculares formando el

gluten que representa la sustancia que confiere resistencia y elasticidad a la mezcla obtenida de harina y agua para la preparación del pan (Prera, 2001:27).

En el Cuadro No. 15 se indica la composición en aminoácidos esenciales de las fracciones proteicas. Al examinar los valores se puede ver que existen diferencias en la composición aminoacídica de la gliadina, la glutenina, la albúmina y la globulina. La gliadina resulta muy pobre en algunos aminoácidos esenciales, entre los cuales la lisina y la metionina son en ese orden sus aminoácidos limitantes. La glutenina, aun presentando un contenido más elevado de estos aminoácidos respecto a la gliadina, no alcanzan los valores de la albúmina y de la globulina (Quaglia, 1991:421).

Cuadro No. 15 Composición en aminoácidos esenciales de las fracciones proteicas del pan (g/100 g de proteína)

Aminoácido	Huevo	Albúmina	Globulina	Gliadina	Glutenina
Lisina	7.03	3.60	3.84	0.56	1.67
Treonina	4.74	3.61	3.43	1.80	2.39
Valina	6.61	5.33	4.39	3.13	3.46
Metionina	3.12	1.88	1.22	0.95	1.29
Isoleucina	5.41	3.50	3.26	3.43	3.22
Leucina	8.56	6.39	6.36	5.73	6.15
Fenilalanina	5.22	3.51	3.72	4.88	4.13
Índice químico	100	51	39	8	24
AA limitante	-	LISINA	METIONINA	LISINA	LISINA

FUENTE: Quaglia, 1991

La composición en aminoácidos de las fracciones proteicas influye en el índice químico que caracteriza el valor biológico de las mismas; más alto en la albúmina y globulina, y más bajo en la glutenina y gliadina. Cabe indicar que las proteínas presentes en el pan en mayor cantidad son desafortunadamente aquellas con menor valor biológico, confiriéndole características negativas al pan en cuanto a su valor biológico. En los últimos años se han realizado investigaciones sobre la selección genética de variedades de trigo con un mayor contenido de proteínas hidrosolubles o de lisina, es decir, el aminoácido limitante del trigo (Matz, 1992:330)

En cuanto a los elementos inorgánicos, son tres los principales en el pan: calcio, fósforo y hierro. El fósforo presente, aproximadamente 150 mg/100 g de pan, no se puede utilizar completamente a causa del bajo contenido de calcio (13 mg en 100 g de pan). Quaglia (1991:422) señala que en los alimentos es fundamental no solo la presencia de calcio y fósforo, sino también su relación. Alimentos con un valor bajo en este índice, como el pan, en el cual el valor oscila entre 0.1 y 0.2 no son idóneos para la formación de huesos. Para obviar tal desequilibrio, en algunos países se procede al enriquecimiento de la harina, es decir, a adicionar aquellos elementos inorgánicos de los cuales el trigo carece.

De los datos expuestos se determina que el pan, aún siendo rico en algunos nutrientes presenta carencias especialmente en lo referente a aminoácidos esenciales, lo cual constituye una amenaza para la salud y nutrición de las personas con un alto consumo de este producto acompañado de un bajo consumo de productos de origen animal, ya que no logran llenar su requerimiento diario de proteína.

2. Evaluación nutricional del maíz con gen opaco 2 en niños. A través de los años, varios estudios sobre la calidad proteica del maíz alto en lisina, han sido desarrollados en niños y adultos. El Cuadro No. 16 resume los datos sobre evaluación de la calidad proteínica en niños con malnutrición proteico acalórica. En todos los casos, la retención de nitrógeno de la población alimentada con maíz opaco 2 resultó en un balance de nitrógeno menor al de la proteína de referencia, pero significativamente mayor que el balance de nitrógeno del maíz común (Bressani, 1991).

Cuadro No. 16 Resumen de estudios en niños sobre balance de nitrógeno

Alimento	Nivel de proteína, ingesta (g/Kg./día)	Nitrógeno (% de ingesta)		Referencia ^b
		Absorbido	Retenido ^a	
Leche	1.73	81.2	24.5	1
Opaco 2	1.84	75.6	<u>28.1</u>	
Leche	1.69	84.5	28.4	
Leche	1.17	83.4	36.4	1
Opaco 2	1.49	71.4	<u>26.0</u>	
Leche	1.19	82.1	25.3	
Maíz común	1.01	61.5	-33.5	2
Opaco 2	0.95	57.9	-5.3	
Leche	0.95	66.4	41.3	
Grano normal	1.60	73.1	26.8	3
Opaco 2	1.60	70.6	<u>30.1</u>	
Sugary 2/Opaco 2	1.60	70.4	<u>31.6</u>	
Caseína	1.60	83.5	39.6	3
Grano normal	1.60	64.1	15.1	
Opaco 2	1.60	69.6	22.8	
Sugary 2/Opaco 2	1.60	66.7	24.8	
Caseína	1.60	81.8	37.0	4
Caseína	13.63	82	41	
Maíz de calidad proteica	14.21	70	<u>32</u>	
Maíz Común	14.10	69	22	

^a Balance de Nitrógeno a niveles de ingesta proteica alrededor de 1.6 g/Kg./día están subrayados.

^b 1: Brezan y colaboradores, 1972; 2: Luna-Jaspe y colaboradores, 1971; 3: Gram. y colaboradores, 1980; 4: Gram. y colaboradores, 1989.

Según los resultados de los estudios de Bressani y colaboradores (1972), no existen diferencias significativas en cuanto a retención de nitrógeno entre los niños alimentados con las dietas a base de leche y de maíz opaco 2, cuando el nivel de ingesta fue \pm 1.8 g/Kg./día. Al reducir el nivel de ingesta proteica, la retención con leche fue superior, por lo menos en el primer período de balance. Con los datos obtenidos en este estudio y datos de nitrógeno endógeno urinario, se calculó la relación existente entre la absorción y la retención de nitrógeno de leche y de maíz opaco 2, esta relación se conoce como índice de balance nitrogenado, y constituye una buena medida del valor biológico de las proteínas. Dicho índice resultó ser de 0.80 para la leche y 0.72 para el maíz opaco 2, estableciéndose así que el valor proteínico del opaco 2 equivale al 90% del valor biológico de la proteína de la leche.

Los estudios de G. H. Luna-Jaspe y colaboradores (1971) indican un balance de nitrógeno negativo, sin embargo, el nivel de ingesta proteínica es demasiado bajo, así como la digestibilidad. En dicho estudio el maíz opaco 2 muestra un balance proteico negativo pero significativamente menor al presentado por el maíz común. Añadido a esto, los autores indicaron que la digestibilidad aparente de la proteína del maíz común fue de 61.5%, 57.9% en el maíz opaco 2 y 66.4% para la leche. Así mismo, concluyeron que el maíz opaco 2 es de mayor valor nutricional que el maíz común.

Los resultados de G. G. Graham y colaboradores (1980,1989) fueron elaborados con el grano entero y muestran que tanto el maíz sugary 2 como el opaco 2 son alrededor de 12% superior que el maíz normal, en relación a la retención de nitrógeno. En 1989, G. G. Graham y colaboradores reportaron los resultados de un estudio con maíz con calidad proteínica (QPM) nutricia, una variedad cristalina de maíz disponible en Guatemala, la calidad proteínica reportada fue equivalente al 78% de la caseína y 45% mas que el maíz común.

De acuerdo a Graham (1989) los niveles plasmáticos de aminoácidos libres de niños alimentados con maíz opaco 2 y maíz sugary 2 con maíz opaco 2 indican que, con base en el nivel de lisina en plasma, este aminoácido es limitante para los niños en el maíz con calidad proteínica (QPM).

Otros hallazgos en niños, pero utilizando el índice de balance nitrogenado (NBI) expresado como valor biológico (BV) se muestran en el Cuadro No. 17:

Cuadro No. 17 Estudios de calidad proteica en niños

Fuente de proteína	Digestibilidad de proteína (%)	Índice de balance nitrogenado	Valor biológico	Referencia ^a
Leche descremada	82.3 ^b	0.80	...	1
Maíz opaco 2	73.5 ^b	0.72	...	1
Maíz común	...	0.31	...	2
Caseína	98 ^c	...	77	3
H-208 opaco	91 ^c	...	76	3
H-208 cristalino	87 ^c	...	75	3
H-208 normal	78 ^c	...	47	3

^a 1: Bressani, 1971; 2: Bressani y colaboradores, 1969; 3: Pradilla y colaboradores, 1973.

^b Digestibilidad aparente, ^c Digestibilidad aparente

El NBI fue 0.72 para el maíz opaco 2 comparado con 0.31 para el maíz común y 0.80 para la leche. El valor biológico del maíz opaco 2 fue según Pradilla (1973) 76%, valor cercano al de la caseína (77%) y aproximadamente 37% mayor que el maíz común.

En estudios realizados por Bressani y colaboradores (1972), se determinó que ingestas de 400 y aun de 500 g de maíz común, resultan en retenciones de nitrógeno muy bajas, y peores aún cuando la ingesta de maíz se reduce a 200 o 300 g/día. Por el contrario, las ingestas de 140 a 230 g de opaco 2 por niño por día, inducen retenciones positivas que hasta exceden las obtenidas con el maíz común adicionado con lisina y triptófano. Las diferencias entre el maíz opaco 2 y el maíz común, este último suplementado con lisina y triptófano, se deben al mejor balance de aminoácidos que hay en el opaco 2.

Utilizando ecuaciones de regresión del balance nitrogenado según la ingesta de nitrógeno de los estudios realizados por el INCAP (Bressani, 1991), fueron estimadas las cantidades de maíz de cada tipo, normal y calidad proteínica, necesarias para obtener un equilibrio nitrogenado. El equilibrio existe cuando el balance de nitrógeno es igual a cero. Los cálculos realizados establecieron que alrededor de 24 g de maíz común son necesarios para un equilibrio de nitrógeno, en contraste con solo 8 g de maíz opaco 2. Con base en un niño con peso de 15 Kg., el balance nitrogenado podría ser obtenido con una ingesta de 260 g de maíz común, mientras que solamente se requieren 120 g de maíz opaco 2 para que esto ocurra. Esto último se encuentra más cercano a los hallazgos del consumo de alimentos, el cual muestra que los niños entre 3 y 5 años tienen un consumo de 135 a 142 g de maíz por día (Bressani, 1991).

Los estudios de crecimiento son escasos, sin embargo, un estudio relativamente largo fue realizado en 1975 en la India. Se asignaron grupos de niños de 18 a 30 meses de edad a diferentes tratamientos de alimentación, todos los niños seleccionados estaban libres de cualquier enfermedad y tenían por lo menos el 60% del peso para la edad. Los grupos experimentales fueron: 25 niños del grupo control, 42 niños alimentados con leche, 35 niños alimentados con maíz común y 32 niños alimentados con maíz opaco 2. Las dietas proveían 10 g de proteína y alrededor de 405 calorías, equivalentes a un tercio de las recomendaciones diarias para calorías y proteínas. El estudio tuvo una duración de 183 días. Los resultados demostraron que los niños alimentados con maíz opaco 2 ganaron una cantidad de peso ligeramente menor que aquellos alimentados con leche, y significativamente más que los niños alimentados con maíz común.

Otro estudio fue realizado en Perú por G. G. Graham (1972), con duración de 90 días, llevado a cabo con 10 niños malnutridos entre 13 a 29 meses de edad y pesos entre 6.1 a 9.9 Kg. En general, las medidas de crecimiento –kilocalorías por gramo de peso ganado, cambio en talla para edad, cambio en peso para edad, y cambio de pliegues- fueron similares para aquellos alimentados con leche. Estos resultados confirman, en una manera diferente, la calidad del maíz opaco 2, situándola muy cercana a la proteína de la leche.

3. Evaluación nutricional del maíz con gen opaco 2 en adultos. Los estudios realizados en adultos humanos son numerosos como los llevados a cabo con niños. Una vez más, los hallazgos revelan la mayor calidad del maíz alto en lisina (opaco 2). H. E. Clark y colaboradores (1977) mostraron que el equilibrio de nitrógeno es obtenido con una ingesta de nitrógeno de 4.28 g, proveniente del maíz opaco 2 lo cual equivale a 230 g de maíz. Por otra parte, Kies y colaboradores (1972) encontraron que, con el maíz común desgerminado, el equilibrio nitrogenado se obtiene con una ingesta de 7.00 g de nitrógeno, esta ingesta es equivalente alrededor de 547 g de maíz.

Los resultados obtenidos en varios estudios se resumen en el Cuadro No. 18:

Cuadro No. 18 Calidad proteica del maíz en adultos humanos

Maíz	Nitrógeno ingerido (%)	Balace de nitrógeno	Nitrógeno retenido (% ingesta)	Digestibilidad aparente (%)	Valor biológico	Referencia
Normal	5.50	-0.28	-5.1	66.0	...	1
		-0.07	-1.6			
Opaco 2	5.50	0.31	+5.6	68.8	...	1
	4.40	0.38	+8.6			
Sugary 2/Opaco 2	5.50	0.40	+7.2	65.6	...	1
	4.40	-0.04	-0.9			
Opaco 2	3.83	-0.63	-16.4	92	80	2
Huevo	3.24	-0.45	-13.9	96	86	
Normal	8.72	0.40	4.6	...	40	3
Normal	4.32	-0.068	-1.6	...	57	

^a 1: Clark y colaboradores, 1977; 2: Young y colaboradores, 1971; 3: Truswell y Brock, 1962.

H. E. Clark y colaboradores (1977) reportaron el balance de nitrógeno del maíz normal y maíz opaco 2 y sugary 2 con opaco 2, a dos diferentes niveles de ingesta. El maíz opaco 2 obtuvo balances positivos en ambos niveles de ingesta, mientras que el maíz sugary 2 con opaco 2 obtuvo balance positivo solamente en el nivel alto de ingesta de nitrógeno. A pesar de ello, todos los balances fueron mayores que aquellos obtenidos por el maíz común.

En estudios realizados por Kies y Fox (1972) se llegó a la conclusión de que los productos del maíz opaco 2 ofrecían una mejor fuente proteínica para el humano adulto, aunque en otros estudios de los mismos autores, se encontró que la lisina todavía muestra ser el primer aminoácido limitante. Los mismos autores estudiaron el efecto de la suplementación con lisina o triptófano adicionados solos, habiendo encontrado que sólo un sujeto mejoró su retención. De los resultados obtenidos en los estudios de Kies y Fox (1972) se calculó que 7 g de nitrógeno de maíz común desgerminado (aproximadamente 547 g de maíz) son necesarios para dar equilibrio de nitrógeno y que el valor biológico de la proteína es de 46.5%.

Los resultados de Clark *et al.* y Kies *et al.* indican que se requieren dos veces más de maíz común que del maíz opaco 2 para tener equilibrio nitrogenado en adultos. Esto equivale aproximadamente a una ingesta de proteína alrededor de 1.6 veces más para el maíz común que para el opaco 2.

Usando un valor biológico de 82%, para el maíz opaco 2, de 28 g ingeridos, alrededor de 23 g son retenidos, lo que aproximadamente se retiene del maíz común (21 gramos) de una mayor ingesta con un valor biológico de 46.5%. Estos datos indican las grandes pérdidas de nitrógeno que ocurren con el maíz común. Analizando también las ingestas de aminoácidos esenciales. Con la excepción de lisina y triptófano, el maíz común, provee mayor cantidad de los otros aminoácidos; sin embargo, no sirven más que como una carga que el cuerpo tiene que descargar. La carga es mayor en el caso de la leucina, tirosina y valina.

4. Evaluación nutricional del maíz con gen opaco 2 en animales de experimentación. Bressani (1968) realizó estudios con ratas, los cuales consistieron en dietas que contenían 90% de maíz crudo, masa y tortilla de maíz común y maíz opaco 2. Los resultados obtenidos en dichos estudios son los que se muestran en el Cuadro No. 19:

Cuadro No. 19 Aumento ponderal en ratas e Índice de Eficiencia Proteica (PER)

Dieta	Aumento ponderal promedio (gramos)	Índice de Eficiencia Proteica (PER) ^a
Maíz común		
Crudo	25 ± 6.5	1.49 ± 0.23
Masa	28 ± 6.8	1.66 ± 0.19
Tortilla	27 ± 6.0	1.55 ± 0.23
Maíz opaco 2		
Crudo	130 ± 21.4	2.79 ± 0.24
Masa	115 ± 10.0	2.76 ± 0.13
Tortilla	115 ± 18.0	2.66 ± 0.14
CASEÍNA	149 ± 20.4	2.88 ± 0.20

^a PER=g aumento de peso/g proteína consumida

FUENTE: Bressani, 1968

Los resultados en cuanto al crecimiento de ratas indican que el crecimiento de animales alimentados con maíz crudo opaco 2 y con masa y tortilla preparadas del mismo, fue superior al de las ratas que consumieron maíz crudo corriente y sus preparaciones respectivas. Se puede apreciar que el aumento ponderal de los animales alimentados con maíz opaco 2 fue aproximadamente 5 veces mayor que los incrementos de peso observados en las ratas que recibieron maíz corriente. En cuanto al PER, el maíz opaco 2 y sus productos obtuvieron valores de 1.5 a 2 veces aproximadamente más altos que los del maíz corriente. Según los datos del Cuadro No. 19, el valor nutricional de la proteína del maíz opaco 2 equivale al 96% del de la caseína.

Con el propósito de determinar si la proteína del maíz opaco 2 atribuía aún las deficiencias de aminoácidos que son característicos del maíz corriente, se llevaron a cabo diversos estudios de suplementación con aminoácidos, realizados por Bressani y colaboradores (1969). El Cuadro No. 20 muestra los resultados representativos de dichos estudios, en cuyo desarrollo se emplearon dietas con 72% del maíz opaco 2 o de maíz corriente, las cuales se suplementaron sólo con lisina, con lisina y triptófano, y con lisina, triptófano e isoleucina respectivamente.

Cuadro No. 20 Efecto de la suplementación, con aminoácidos del maíz opaco 2 y del maíz común

Suplemento de aminoácidos	Aumento ponderal promedio (gramos)	Índice de Eficiencia Proteica (PER)
Maíz opaco 2		
Dieta control	90 ± 12	2.72 ± 0.18
+ 40% lisina	96 ± 20	2.94 ± 0.25
+ 40% lisina + 0.10% triptófano	91 ± 16	2.82 ± 0.24
+ 40% lisina + 0.10% triptófano + 0.20% isoleucina	94 ± 18	2.96 ± 0.27
Maíz común		
Dieta control	38 ± 9	1.47 ± 0.27
+ 40% lisina	28 ± 14	1.41 ± 0.62
+ 40% lisina + 0.10% triptófano	75 ± 19	2.47 ± 0.27
+ 40% lisina + 0.10% triptófano + 0.20% isoleucina	77 ± 17	2.53 ± 0.32

FUENTE: Bressani, 1968

Se hace relevante un pequeño efecto en el aumento ponderal de las ratas, y en la razón de eficiencia proteica en el caso de las dietas a base de maíz opaco 2 a la que se le adicionó lisina, pero no así cuando éstas fueron suplementadas con lisina más triptófano, o con lisina, triptófano e isoleucina. En el caso del maíz corriente, el agregado de lisina no tuvo ningún efecto, pero la adición simultánea de lisina más triptófano y de los tres aminoácidos juntos aumentó tanto en peso de los animales, como el PER.

Por lo tanto, el alto valor nutritivo de la proteína del maíz opaco 2 puede explicarse con base a el contenido más alto en este maíz de los aminoácidos lisina y triptófano en comparación con el maíz común. Esto se demostró en los estudios de suplementación, ya que aún cuando los resultados indican que el maíz opaco 2 es ligeramente deficiente en lisina, la adición de este aminoácido juntamente con el triptófano no causaron ningún efecto significativo en la calidad de la proteína, pero sí en la del maíz corriente (Bressani *et al.*, 1969).

La deficiencia de estos dos aminoácidos en la proteína del maíz común y la mayor concentración de los mismos en el maíz opaco 2 proviene del hecho que aproximadamente 50% de la proteína total es zeína, mientras que en el maíz opaco 2 contiene aproximadamente la mitad. La zeína, proteína soluble en alcohol, no contiene lisina y sólo cantidades pequeñas de triptófano. El maíz opaco 2 contiene doble cantidad de la fracción proteica soluble en álcali en comparación con los otros maíces comunes (Bressani, 1969).

Estudios realizados por Bressani y Elias (1972) en perros jóvenes y adultos, utilizando dos niveles de proteína en una dieta formada por 82.8% de maíz y 10.5% de harina de frijol, indicaron que dicha dieta puede mejorar mediante la adición de los aminoácidos que limitan la calidad de la proteína del maíz, lisina y triptófano. Los resultados señalan también que la calidad proteica de la dieta a base de maíz y frijol puede ser mejorada utilizándose maíz opaco 2 en vez de maíz común.

La importancia del maíz opaco 2 en nutrición animal también debe de considerarse, ya que las raciones de aves y cerdos se elaboran en muchos casos a base de maíz. Datos preliminares indican que el maíz opaco 2 puede ser de mucho valor para la industria animal.

5. Composición química y valor nutritivo del maíz común. Existe un número considerable de datos sobre la composición química del maíz y múltiples estudios han sido llevados a cabo para tratar de comprender y evaluar las repercusiones de la estructura genética del número relativamente elevado de variedades de maíz existentes en su composición química, así como la influencia de los factores ambientales y las prácticas agronómicas en los elementos constitutivos químicos y en el valor nutritivo del grano y sus partes anatómicas.

a. Composición química de las partes del grano. Como se muestra en el Cuadro No. 21, las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87%, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67%), celulosa (23%) y lignina (0.1%) (Burga y Duensing, 1989). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87%), aproximadamente 8% de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.

Cuadro No. 21 Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%)

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Azúcar	0.34	0.62	10.8

FUENTE: Watson, 1987.

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33% por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20%) y minerales. Se dispone de algunos datos sobre la composición química de la capa de aleurona, elemento con un contenido relativamente elevado de proteínas (aproximadamente el 19%) y de fibra cruda. Se conoce que el endospermo aporta la mayor parte de proteínas, seguido por el germen y, en último lugar, por la cubierta seminal, que presenta sólo cantidades reducidas, mientras que en el teosinte cerca del 92% de las proteínas proceden del endospermo. Varios investigadores (por ejemplo Bressani y Mertz, 1958) han llevado a cabo estudios sobre el contenido de proteínas del grano de maíz.

El contenido de hidratos de carbono y proteínas de los granos de maíz depende en medida considerable del endospermo; el de grasas crudas y, en menor medida, proteínas y minerales, del germen. La fibra cruda del grano se encuentra fundamentalmente en la cubierta seminal. La distribución ponderal de las partes del grano, su composición química concreta y su valor nutritivo tienen gran importancia cuando se procesa el maíz para consumo; a este respecto, hay dos cuestiones de importancia desde la perspectiva nutricional: el contenido de ácidos grasos y el de proteínas.

El aceite de germen suministra niveles relativamente elevados de ácidos grasos (Bressani et al. 1990; Wéber, 1987); cuando se dan ingestas elevadas de maíz, como sucede en determinadas poblaciones, quienes consumen el grano desgerminado obtendrán menos ácidos grasos que quienes comen el maíz entero elaborado. Esta diferencia tiene probablemente igual importancia en lo que se refiere a las proteínas, dado que el contenido de aminoácidos de las proteínas del germen difiere radicalmente del de las proteínas del endospermo. Se expone esta situación en el Cuadro No.22, en el que los aminoácidos esenciales se expresan en forma de porcentaje de mg por peso y de mg por g de N.

Cuadro No. 22 Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz

Aminoácido	Endospermo ^a		Germen ^b		Modelo FAO/OMS
	mg %	mg/g N	mg %	mg/g N	
Triptófano	48	38	144	62	60
Treonina	315	249	622	268	250
Isoleucina	365	289	578	249	250
Leucina	1024	810	1030	444	440
Lisina	228	180	791	341	340
Total azufrados	249	197	362	156	220
Fenilalanina	359	284	483	208	380
Tirosina	483	382	343	148	380
Valina	403	319	789	340	310

^a 1, 26 por ciento de N

^b 2, 32 por ciento de N

FUENTE: Orr y Watt, 1957.

Por otro lado, el endospermo representa del 70 al 86% del peso del grano, y el germen del 7 al 22%. Así pues, si se analiza todo el grano, el contenido de aminoácidos esenciales refleja el contenido de aminoácidos de las proteínas del endospermo, pese a que la configuración de éstos en el caso del germen es más elevada y mejor equilibrada. No obstante, las proteínas del germen proporcionan una cantidad relativamente alta de determinados aminoácidos, aunque no suficiente para elevar la calidad de las proteínas de todo el grano. El germen aporta pequeñas cantidades de lisina y triptófano, los dos aminoácidos esenciales limitantes en las proteínas del maíz. Las proteínas del endospermo tienen un bajo contenido de lisina y triptófano, al igual que las proteínas de todo el grano, donde también figura el modelo de referencia de aminoácidos esenciales FAO/OMS. La deficiencia de lisina, triptófano e isoleucina ha sido perfectamente demostrada mediante numerosos estudios con animales (Howe, Jason y Gilfillan, 1965) y un número reducido de estudios con seres humanos (Bressani, 1971).

b. Composición química general. La información de que se dispone sobre la composición química general del maíz es abundante y permite conocer que la variabilidad de cada uno de sus principales nutrientes es muy amplia. En el Cuadro No.23 se muestra la composición química de distintos tipos de maíz, tomados de un estudio que resume datos de diversas publicaciones. La variabilidad observada es

tanto genética como ambiental y puede influir en la distribución ponderal y en la composición química específica del endospermo, el germen y la cáscara de los granos.

Cuadro No. 23 Composición química general de distintos tipos de maíz (%)

Tipo	Humedad	Cenizas	Proteínas	Fibra cruda	Extracto etéreo	Hidratos de carbono
Salpor	12.2	1.2	5.8	0.8	4.1	75.9
Cristalino	10.5	1.7	10.3	2.2	5.0	70.3
Harinoso	9.6	1.7	10.7	2.2	5.4	70.4
Amilaceo	11.2	2.9	9.1	1.8	2.2	72.8
Dulce	9.5	1.5	12.9	2.9	3.9	69.3
Reventador	10.4	1.7	13.7	2.5	5.7	66.0
Negro	12.3	1.2	5.2	1.0	4.4	75.9

FUENTE: Cortéz Wild-Altamirano, 1972

1) Almidón. El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde desde 72 al 73% del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3% del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye entre el 25 al 30% del almidón. El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye entre el 70 al 75% del almidón. La composición del almidón viene determinada genéticamente (Boyer y Shannon, 1987).

2) Proteínas. Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11% del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Las proteínas de los granos del maíz han sido estudiadas ampliamente, y según Landry y Moureaux (1970; 1982), están formadas por lo menos por cinco fracciones distintas. Conforme a su descripción, las albúminas, las globulinas y el nitrógeno no proteico totalizan aproximadamente el 18% del total de nitrógeno, con proporciones del 7%, 5% y 6%, respectivamente. La fracción de prolamina soluble en isopropanol al 55% y de isopropanol con mercaptoetanol (ME), constituye el 52% del nitrógeno del grano; de éstas la prolamina 1 o zeína 1 soluble en isopropanol al 55% representa aproximadamente el 42%, y el restante 10% es prolamina 2 o zeína 2. Una solución alcalina con pH 10 y con 0.6 % de ME, extrae la fracción de glutelina 2 en cantidades de aproximadamente el 8%, en tanto que la glutelina 3 es extraída con la misma solución retardante que antes, con dodecilsulfato de sodio al 0.5%, en cantidades del 17% dando un contenido total de globulina del 25% de las proteínas del grano. Normalmente, una porción reducida, cerca del 5%, está constituida por nitrógeno residual.

Las cantidades de proteínas solubles en alcohol son bajas en el maíz verde y aumentan a medida que el grano madura. Analizadas dichas fracciones para averiguar su contenido de aminoácidos, la fracción de zeína resultó tener un contenido muy bajo de lisina y carecer de triptofano. Como esas fracciones de

zeína constituyen más del 50% de las proteínas del grano, se desprende que ambos aminoácidos tienen también un porcentaje bajo de proteínas. En cambio las fracciones de albúmina, globulina y glutelina contienen niveles relativamente elevados de lisina y triptofano. Otra característica importante de las fracciones de zeína es su elevadísimo contenido de leucina, aminoácido relacionado con la deficiencia de isoleucina (Patterson et al., 1980).

3) Aceite y ácidos grasos. El aceite del grano de maíz está fundamentalmente en el germen y viene determinado genéticamente, con valores que van del 3 al 18%. El aceite de maíz tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: ácido palmítico y esteárico, con valores medios del 11% y el 2%, respectivamente. En cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poliinsaturados, fundamentalmente ácido linoleico, con un valor medio de cerca del 24%. Sólo se han encontrado cantidades reducidísimas de ácidos linolénico y araquidónico. Además, el aceite de maíz es relativamente estable, por contener únicamente pequeñas cantidades de ácido linolénico (0.7%) y niveles elevados de antioxidantes naturales. El aceite de maíz goza de gran reputación a causa de la distribución de sus ácidos grasos, fundamentalmente ácidos oleico y linoleico (Bressani et al., 1990).

4) Fibra dietética. Después de los hidratos de carbono (principalmente almidón), las proteínas y las grasas, la fibra dietética es el componente químico del maíz que se halla en cantidades mayores. Los hidratos de carbono complejos del grano de maíz se encuentran en el pericarpio y la piloriza, aunque también en las paredes celulares del endospermo y, en menor medida, en las del germen. El contenido total de fibra dietética soluble e insoluble de los granos de maíz se indica en el Cuadro No. 24. Las diferencias entre las muestras son pequeñas en lo que se refiere a la fibra soluble e insoluble, aunque el maíz nutrita tiene niveles más elevados de fibra total que el maíz común, fundamentalmente por tener más fibra insoluble.

Cuadro No. 24 Fibra soluble e insoluble del maíz común y del maíz nutrita (%)

Tipo de Maíz	Fibra dietética		
	Insoluble	Soluble	Total
De sierra	10.94 ± 1.26	1.25 ± 0.41	12.19 ± 1.30
De tierras bajas	11.15 ± 1.08	1.64 ± 0.73	12.80 ± 1.47
Maíz nutrita	13.77	1.14	14.91

FUENTE: Bressani, Breuner y Ortiz, 1989

5) Minerales. La concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente del 1.3%, sólo ligeramente menor que el contenido de fibra cruda. Los factores ambientales influyen probablemente en dicho contenido. El germen es relativamente rico en minerales, con un valor medio del 11%, frente a menos del 1% en el endospermo. El germen proporciona cerca del 78% de todos los minerales del grano. El mineral que más abunda es el fósforo, en forma de fitato de potasio y magnesio, encontrándose en su totalidad en el embrión con valores de aproximadamente 0.90% en el maíz común y cerca del 0.92% en el maíz opaco 2. Como sucede con la mayoría de los granos de cereal, el maíz tiene un bajo contenido de calcio y de oligoelementos.

6) Vitaminas liposolubles. El grano de maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, la provitamina A, o carotenoide, y la vitamina E. Los carotenoides se hallan sobre todo en el maíz amarillo, en cantidades que pueden ser reguladas genéticamente, en tanto que el maíz blanco tiene un escaso o nulo contenido de ellos. La mayoría de los carotenoides se encuentran en el endospermo duro del grano y únicamente pequeñas cantidades en el germen. El beta caroteno es una fuente importante de vitamina A, aunque no totalmente aprovechada pues los seres humanos no consumen tanto maíz amarillo como maíz blanco. La proporción de vitamina A variaba de 1.5 a 2.6 μ g/g. Los carotenoides del maíz amarillo pueden destruirse durante el almacenamiento; Watson (1962) encontró en el maíz recién cosechado valores de 4.8 mg/kg, que al cabo de 36 meses de almacenamiento habían disminuido a 1.0 mg/kg. Lo mismo sucedió con las xantofilas. Según estudios recientes, si se mejora la calidad proteínica del maíz aumenta la transformación de beta caroteno en vitamina A.

La otra vitamina liposoluble, la vitamina E, que es objeto de cierta regulación genética, se halla principalmente en el germen. La fuente de la vitamina E son cuatro tocoferoles; el más activo biológicamente es el tocoferol alfa; aunque el tocoferol-gamma es probablemente más activo como antioxidante.

7) Vitaminas hidrosolubles. Las vitaminas solubles en agua se encuentran sobre todo en la capa de aleurona del grano de maíz, y en menor medida en el germen y el endospermo. Esta distribución tiene importancia al elaborar el cereal pues, la elaboración da lugar a pérdidas considerables de vitaminas. Se han encontrado cantidades variables de tiamina y riboflavina en el grano del maíz; su contenido está determinado en mayor medida por el medio ambiente y las prácticas de cultivo que por la estructura genética, aunque se han encontrado diferencias en el contenido de estas vitaminas entre las distintas variedades. La vitamina soluble en agua a la cual se han dedicado más investigaciones es el ácido nicotínico, a causa de su asociación con la deficiencia de niacina, o pelagra, fenómeno muy difundido en las poblaciones que consumen grandes cantidades de maíz (Christianson et al., 1968). Al igual que sucede con otras vitaminas, el contenido de niacina es distinto según las variedades, con valores medios de aproximadamente 20 μ g/g. Una característica propia de la niacina es que está ligada y por lo tanto, el organismo animal no la puede asimilar; sin embargo, existen algunas técnicas de elaboración que hidrolizan la niacina, permitiendo su asimilación. La asociación de la ingesta de maíz con la pelagra se debe a los bajos niveles de niacina del grano, aunque se ha demostrado experimentalmente que también son importantes los desequilibrios de aminoácidos, por ejemplo la proporción entre la leucina y la isoleucina, y la cantidad de triptofano asimilable (Gopalan y Rao, 1975; Patterson et al., 1980).

El maíz no tiene vitamina B12 y el grano maduro contiene sólo pequeñas cantidades -en caso de que las haya- de ácido ascórbico. Yen, Jensen y Baker (1976) hallaron un contenido de aproximadamente 2.69 mg/kg de piridoxina asimilable. Otras vitaminas, como la colina, el ácido fólico y el ácido pantoténico, se encuentran en concentraciones pequeñísimas.

c. Valor nutritivo del maíz. La importancia de los cereales en la nutrición de millones de personas de todo el mundo es ampliamente reconocida. Debido a su ingesta relativamente elevada en los países en desarrollo, no se les puede considerar sólo una fuente de energía, sino que además suministran cantidades notables de proteínas. Los granos de cereal tienen una baja concentración de proteínas y la calidad de éstas se halla limitada por la deficiencia de algunos aminoácidos esenciales, sobre todo lisina. Un hecho mucho menos conocido es que algunos cereales contienen un exceso de ciertos aminoácidos esenciales que influye en la eficiencia de la asimilación de las proteínas. Ejemplo clásico de ello es el maíz, pues otros cereales presentan limitaciones iguales, pero menos evidentes (FAO, 1993).

En el Cuadro No. 25 se compara el valor nutritivo o calidad de las proteínas del maíz con la de otros ocho cereales, expresado en porcentajes de caseína. A excepción del arroz, la riqueza de proteínas del maíz común es similar a la de los demás cereales. Tanto el maíz opaco 2 como el MPC de endospermo duro (Nutricia) tienen un contenido de proteínas no solamente superior al del maíz común, sino también considerablemente superior al de los demás cereales (FAO, 1993).

Cuadro No. 25 Calidad de las proteínas del maíz y otros cereales

Cereal	Calidad de las proteínas (% de caseína)
Maíz común	32.1
Maíz opaco 2	96.8
MPC	82.1
Arroz	79.3
Trigo	38.7
Avena	59.0
Sorgo	32.5
Cebada	58.0
Mijo perla	46.4
Mijo africano o coracán	35.7
Centeno	64.8

FUENTE: FAO, 1993

Numerosos investigadores han analizado las causas de la baja calidad de las proteínas del maíz, y entre los primeros estudios estuvieron los de Mitchell y Smuts (1932), quienes consiguieron mejoras notorias en el crecimiento humano al complementar dietas de proteínas de maíz al 8% con un 0.25% de lisina. Estos resultados han sido confirmados a lo largo del tiempo por otros autores (*e.g.* Howe, Janson y Gilfillan, 1965), en tanto que otros (*e.g.* Bressani, Elías y Braham, 1968) han mostrado que al agregar lisina al maíz sólo mejora levemente la calidad de las proteínas. Esta diferencia de resultados se puede explicar por el distinto contenido de lisina de las variedades de maíz. Los estudios al respecto llevaron al descubrimiento por parte de Mertz, Bates y Nelson (1964) del maíz con elevado contenido de lisina denominado opaco 2.

Según algunos investigadores (Hogan et al., 1955), es el triptófano, no la lisina, el principal aminoácido limitante de las proteínas del maíz, lo cual puede ser cierto en el caso de algunas variedades con una concentración elevada de lisina o para productos de maíz que hayan sido sometidos a algún tipo de

elaboración. Todos los investigadores han coincidido, en cambio, en que la adición simultánea de lisina y triptófano mejora considerablemente la calidad de las proteínas del maíz, como se ha demostrado experimentalmente con animales.

La mejora de calidad obtenida a raíz de la adición de lisina y triptofano ha sido pequeña en algunos estudios y más elevada en otros, tras la adición de otros aminoácidos. Al parecer, el aminoácido limitante de las proteínas de más importancia, después de la lisina y del triptofano, es la isoleucina, según se ha determinado en experimentos de alimentación animal (Benton, Harper y Elvehjem, 1955). La mayoría de los investigadores que han indicado esos resultados señalan que el efecto de la adición de isoleucina se debe a un exceso de leucina que obstaculiza la absorción y la utilización de la isoleucina (Harper, Benton y Elvehjem, 1955; Benton et al., 1956). Se ha informado que la elevada ingesta de leucina consumida con las proteínas del maíz aumenta las necesidades de niacina y que este aminoácido podría ser, parcialmente, el causante de la pelagra.

La isoleucina parece ser más eficaz que la treonina, pues produce resultados más coherentes, los que quizá se deban a que el maíz no es deficiente ni en isoleucina ni en treonina; sin embargo, algunas muestras pueden contener cantidades mayores de leucina, metionina y valina, y necesitan que se les agregue isoleucina y treonina, además de lisina y triptofano, para mejorar la calidad de las proteínas. Sea como fuere, la adición de 0.30% de L-lisina y de 0.10% de L-triptofano aumenta fácilmente la calidad de las proteínas del maíz en un 150% (Bressani, Elías y Braham, 1968). Muchos de los efectos de los aminoácidos limitantes sobre las proteínas del maíz varían según el nivel de proteínas del maíz. Como se indicó anteriormente, el contenido de proteínas del maíz es un rasgo genético en el que influye el abono nitrogenado. El aumento del contenido de proteínas observado guarda estrecha correlación con la zeína, o proteína soluble en alcohol, que es baja en lisina y triptofano y contiene cantidades excesivas de leucina. Frey (1951) halló una correlación elevada entre el contenido de proteínas y la zeína del maíz, hecho que han confirmado otros autores. Utilizando distintas especies animales, diversos investigadores han llegado a la conclusión de que la calidad de las proteínas del maíz con bajo contenido de proteínas es superior a la del maíz con alto contenido, si las proteínas de las dietas examinadas son las mismas; por otro lado, comparando pesos iguales, el maíz con elevado contenido de proteínas tiene una calidad de éstas ligeramente superior a la del maíz con bajo contenido de proteínas. En consecuencia, el nivel de proteínas de la dieta influye en la respuesta observada a una dieta suplementada con aminoácidos como lisina y triptofano, pero también a dietas complementadas con otros elementos, como isoleucina y treonina.

6. Comparación del valor nutritivo del maíz común y maíz opaco 2. Se ha demostrado plenamente que la proteína del maíz es de baja calidad, debido a que es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, deficiencias que, a su vez, se deben a que la mayor parte de la proteína del grano de cultivo corriente está formada por la proteína zeína. Esta proteína contiene cantidades muy bajas de triptófano y carece de lisina; en contraste, el maíz con el gen opaco 2 contiene menos de la mitad de zeína, con un incremento correspondiente en la proteína soluble en álcali. El análisis del contenido de aminoácido de esta

última proteína indica que contiene cantidades apreciables de lisina, hecho que explica por qué el maíz con el gen opaco 2 es rico en este aminoácido (Bressani, 1968:8).

Los investigadores Mertz, Bates y Nelson anunciaron en el año 1964 que habían descubierto que el gen opaco 2 empleado como marcador en la selección de maíz aumentaba considerablemente las cantidades de lisina y triptófano de sus proteínas. El hallazgo de que el gen recesivo conocido como opaco 2, controla la distribución de proteína en el grano de maíz, proporcionando más triptófano y lisina que el cereal de uso común es, por consiguiente, de suma importancia para la nutrición de aquellas poblaciones que acostumbran consumir maíz en su dieta básica.

La calidad de una proteína depende de la cantidad y proporción de aminoácidos esenciales que son absorbidos en relación con las necesidades de dichos aminoácidos. En general, el contenido de aminoácidos esenciales en un alimento es relativamente un buen indicador de la calidad de la proteína, particularmente si la digestibilidad es alta (Bressani, 1991). El Cuadro No. 26 muestra el contenido de aminoácidos esenciales del maíz común y el maíz alto en lisina, incluyendo también la proteína patrón según la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS):

Cuadro No. 26 Contenido de aminoácidos esenciales y puntaje químico del maíz común y el maíz opaco 2

Aminoácido	Tipo de maíz		Patrón FAO/OMS	Puntaje químico	
	Común	Opaco 2		Común	Opaco 2
Lisina	177	256	340	0.52	0.75
Isoleucina	206	193	250	0.82	0.77
Leucina	827	507	440	1.87	1.15
Total aminoácidos sulfurados	188	188	220	0.85	0.85
Total aminoácidos aromáticos	505	502	380	1.32	1.32
Treonina	213	199	250	0.85	0.79
Triptófano	35	78	60	0.58	1.30
Valina	292	298	310	0.94	0.96
Relación leucina/isoleucina	4.01	2.63	1.76	2.27	1.49

FUENTE: Bressani, 1991; Bressani y Mertz, 1958.

En el maíz común tomando como base la proteína patrón, los aminoácidos deficientes incluyen la lisina, isoleucina, aminoácidos sulfurados, treonina y triptófano. En el maíz opaco 2, los niveles de lisina y triptófano aumentan, sin mayor cambio en otros aminoácidos excepto la leucina.

No existen estudios comparados directos de la digestibilidad y del valor biológico de las proteínas del maíz común y del opaco 2, por lo que, para compararlos, se recurrirá a los estudios del maíz común efectuados por Truswell y Brock (1961, 1962) y del maíz opaco 2 por Young et al. (1971). En uno de los experimentos de Truswell y Brock, los sujetos recibieron el 90% de su ingesta de nitrógeno a partir de maíz y el 10% de otros alimentos. Los resultados demostraron que se alcanzaba un balance positivo de nitrógeno cuando la ingesta de éste era de más de 7 g al día, aunque se detectó una gran variabilidad, al igual que en otros estudios. Los autores calcularon el valor biológico, que ascendía por

término medio al 45% a un nivel de ingesta elevada, y al 57% a un nivel inferior de ingesta de nitrógeno. Estos resultados eran de esperarse, pues el valor biológico de una proteína depende del nivel de la ingesta proteica. Como todos los sujetos proyectaron un balance de nitrógeno positivo cuando la ingesta era elevada, los autores concluyeron que el valor biológico del maíz estaba próximo al 57%. Young et al. (1971) obtuvieron resultados similares. Según Truswell y Brock (1961), en los sujetos adultos alimentados con maíz, la adición de lisina, triptófano e isoleucina aumentaba el balance de nitrógeno de 0.475 a 0.953 g de N por día en un estudio, y de 0.538 a 1.035 g de N por día en un segundo estudio. La harina con que fueron alimentados era harina de maíz desgerminado, en la que son más visibles las deficiencias.

El valor biológico de las proteínas del maíz opaco 2 fue estudiado por Young et al. (1971), en este estudio utilizaron como referencia proteínas de huevo, con una ingesta de 2.64 a 3.95 g de N por día. Los autores calcularon la digestibilidad real de las proteínas y el valor biológico a partir del nitrógeno metabólico fecal y del nitrógeno endógeno de la orina. La digestibilidad de las proteínas del maíz opaco 2 varió entre 67 y 106%, con un promedio, en los ocho sujetos del estudio, del 92%, en tanto que la variabilidad de las proteínas de huevo fue del 78 al 103%, con un promedio del 96%. El valor biológico medio del maíz opaco 2 fue del 80%, y el del huevo del 96%.

Las pruebas obtenidas en los estudios realizados con niños y adultos indican claramente la superioridad del maíz opaco 2 sobre el maíz común. Pese a ello, de todos los países consumidores de maíz, sólo Colombia y Guatemala se han esforzado en los últimos años por introducir este maíz dentro de sus cosechas nacionales. Los motivos no son claros, pues diversos estudios agronómicos llevados a cabo en distintos lugares han demostrado que el maíz de calidad proteínica (MPC) y el maíz común no presentan diferencias en cuanto a prácticas de cultivo, rendimiento por unidad de superficie y calidad material del grano. Además, las plantas se asemejan, los granos son cristalinos y los rendimientos del cereal son comparables a los del maíz común. Estos factores son quizás más importantes para los agricultores que las ventajas nutritivas que ofrece el MPC.

El contenido de energía de ambos tipos es similar, mientras que el contenido de proteínas es mayor y se aprovecha mejor en el MPC gracias a su mejor equilibrio de aminoácidos esenciales. Ahora bien, el valor proteínico del maíz opaco 2 se puede analizar desde otros puntos de vista y los datos expuestos en el Cuadro No. 27 pueden servir para decidir si conviene introducir las variedades de este tipo en los países consumidores de este cereal.

Cuadro No. 27 Ingesta de proteínas y aminoácidos de maíz opaco 2 y maíz común necesaria para obtener el balance de nitrógeno (g/día)

	Opaco 2	Común
Cantidad de maíz	250	547
Proteínas ^a	27.9	43.8
Isoleucina	1.01	2.00
Leucina	2.70	5.60
Lisina	1.34	1.25
Metionina	0.60	0.80
Cistina	0.55	0.56
Fenilalanina	1.33	1.96
Tirosina	1.14	1.64
Treonina	1.10	1.72
Triptófano	0.39	0.26
Valina	1.54	2.20
Total aminoácidos	11.70	18.99

^a La digestibilidad de las proteínas del maíz opaco 2 es 76.5 por ciento. El valor biológico de las proteínas del maíz común es 46.5 por ciento.

FUENTE: Clak et al., 1967, Kies, Williams y Fox, 1965.

Se ha determinado que la ingesta de ambos tipos de maíz, así como su contenido de nitrógeno (proteínas), son similares, pero sus tasas de digestibilidad difieren notablemente: de una ingesta de 48 g de nitrógeno de maíz común, sólo se absorben 39.4 g y se pierden en las heces 8.6 g. En el caso del maíz opaco 2, de una ingesta de 48 g de nitrógeno, se absorben 44.2 g y se pierden 3.8 g en las heces.

Así pues, el hecho que debe tomarse en consideración es el valor biológico, que se define como la cantidad de nitrógeno absorbido que suministra los aminoácidos necesarios para las distintas funciones metabólicas. El valor biológico del maíz común es 45%; de los 39.4 g absorbidos, se retienen 17.7 g y se excretan 21.7 g. En el maíz opaco 2, el valor biológico de las proteínas es 80%; de 44.2 g de nitrógeno absorbidos, se retienen 35.4 g y se excretan 8.8 g. La cantidad de nitrógeno que se pierde si se consume maíz común asciende a 30.3 g, en tanto que sólo se pierden 12.6 g con idéntica cantidad de opaco 2.

Dicho de otro modo, sólo se aprovecha el 37% de la ingesta de maíz común, mientras que el maíz opaco 2 tiene un rendimiento del 74%. Así pues la producción y consumo de MPC en los países consumidores de maíz influiría muy favorablemente en el estado nutricional de la población, con importantes repercusiones económicas derivadas de la mejor utilización de lo que se produce y consume.

7. Métodos analíticos para la determinación de nitrógeno. El nitrógeno de los alimentos proviene no solamente de los aminoácidos que forman las proteínas, sino también de otros compuestos que pueden ser usados total o parcialmente en la economía de nitrógeno total de humano o animales. El contenido de nitrógeno proteínico de los alimentos puede variar entre 150 a 180 g/Kg. (15 al 18%) dependiendo de los aminoácidos que éstos contenga (Tarr, 1958:223).

En la práctica, la mayoría de los métodos biológicos para evaluar la calidad proteínica de los alimentos son evaluaciones de nitrógeno, pero se expresan como proteína cruda ($N \times 6.25$) (FAO/OMS, 1973).

En el caso de algunos alimentos, los valores de nitrógeno total son algunas veces fraccionados en Proteína Verdadera (PV) y Nitrógeno No Proteico (NNP). Este fraccionamiento se efectúa de acuerdo a las cantidades de nitrógeno que se recuperan en el precipitado y en el filtrado, respectivamente, después se extraen los alimentos con varios solventes para proteínas, seguidos de precipitación con ácido tricloroacético u otros solventes precipitantes de proteínas. Esta metodología no es recomendable debido a que el nitrógeno de los aminoácidos libres contenido en la fracción de NNP puede tener el mismo valor nutricional que las proteínas precipitadas (PV). Actualmente, el análisis de aminoácidos se usa corrientemente para expresar la cantidad total de aminoácidos en los alimentos (Pellet y Young, 1980:12).

El contenido proteínico de los alimentos se estima convencionalmente a partir de la cantidad de nitrógeno determinada por el método de Kjeldahl. El método macro Kjeldahl es para muestras difíciles de homogenizar y el tamaño de la muestra puede ser de 1 a 3 g; la determinación semimicro está diseñada para cantidades pequeñas, menores a 300 mg. de material homogéneo (Munro y Fleck, 1969:423, Pellet y Young, 1980:96).

Aunque se ha modificado durante años, el procedimiento básico de Kjeldahl mantiene aún su posición como la técnica más fidedigna para la determinación de nitrógeno orgánico. En consecuencia, es incluido entre los métodos oficiales estatuidos y es aprobado por las organizaciones internacionales. Además, los resultados obtenidos mediante el método de Kjeldahl se usan para calibrar los métodos físicos y los automáticos (Lehninger, 1993:290).

Este método de análisis es aplicable a todo tipo de alimento en general. Si el alimento ha sido enriquecido con urea, la expresión del resultado es engañosa (Lehninger, 1993:290).

En el método de Kjeldahl la muestra se descompone en caliente con ácido sulfúrico concentrado para convertir el nitrógeno combinado, en ion amonio. La solución resultante se enfría, se diluye y se vuelve básica. El amoniaco se libera, se destila, se recoge en una solución ácida y se determina por medio de una titulación de neutralización (Skoog, 2001:343).

- Ventajas: Es el método más común y por lo tanto permite comparar fácilmente resultados con otros laboratorios. Determina todo el contenido de nitrógeno del alimento. El nitrógeno no proteínico puede ser analizado después de precipitar la proteína con ácido tricloroacético (Badui, 1997:243).

- Limitaciones: Puede haber pérdidas de nitrógeno debido a la temperatura de digestión y al catalizador. El contenido de nitrógeno en la proteína puede variar considerablemente y por lo tanto el factor usado para convertir nitrógeno a proteína. El nitrógeno no proteico se debe tomar en cuenta ya que éste se mide junto con el proteico. Se usan reactivos y condiciones un tanto peligrosas. El proceso es largo (Badui, 1997:243).

Por otra parte, cuando se dispone del equipo apropiado se puede determinar amoníaco en los productos de digestión con ácido sulfúrico, usando autoanalizadores y métodos colorimétricos basados en la reacción con fenolato hipoclorito alcalino. Este método ha demostrado ser confiable y sumamente rápido (Pellet y Young, 1980:13).

Otros métodos colorimétricos tales como el biuret y el reactivo Folin-Ciocalteu, así como fluorimétricos para la determinación de proteína en alimentos han sido ampliamente utilizados. Cuando se tiene que analizar un gran número de muestras de un solo material no procesado, para propósitos de selección por su contenido de proteína, se pueden usar los métodos que determinan la capacidad de la proteína para fijar colorantes (Ashworth, 1962:952).

8. Evaluación de la calidad proteica en animales experimentales. La evaluación de la proteína de un alimento normalmente se lleva a cabo partiendo de lo más simple a lo más complejo. La evaluación comienza con el análisis de nitrógeno y aminoácidos, la sigue una serie de determinaciones químicas específicas, y termina con las pruebas biológicas.

a. Limitaciones de los procedimientos biológicos. Debido a que los ensayos con animales han sido ampliamente utilizados para evaluar la calidad proteínica, han logrado tal reconocimiento que frecuentemente se considera que los resultados obtenidos suministran toda la información requerida. Existen, sin embargo, limitaciones en la cantidad y el tipo de información que pueden derivarse de los procedimientos de ensayo con animales:

- El resultado obtenido depende de los aminoácidos limitantes y de su disponibilidad y balance, y de la presencia o ausencia de otros materiales que pueden interferir con la evaluación, y no suministra información acerca de otros aminoácidos esenciales y no esenciales de la proteína. Otros aminoácidos esenciales pueden estar presentes en concentraciones tan bajas como el aminoácido limitante, o en exceso relativo (Pellet y Young, 1980:47).
- Se obtiene un solo índice de evaluación que se aplica para una variedad de funciones de la proteína. Una proteína que es de alta calidad para un propósito puede no serlo para otro, aunque la evidencia a este respecto no es definitiva (Pellet y Young, 1980:47-48).
- Un ensayo en el laboratorio se lleva a cabo bajo condiciones estandarizadas que pueden ser distintas de aquellas que se encuentran en situaciones no experimentales. Se ha establecido que la utilización de la proteína varía con la cantidad de proteína y la historia dietética previa (Pellet y Young, 1980:48).
- Los resultados generalmente se extrapolan de los animales al hombre. Este es un problema ampliamente reconocido en los trabajos nutricionales. Aun cuando existe evidencia de que los

resultados de muchos experimentos en ratas concuerdan con los obtenidos en humanos, la extrapolación no es necesariamente válida (Pellet y Young, 1980:48).

- Existe evidencia de estudios con ratas indicativos de que el exceso de un aminoácido puede afectar la utilización de la proteína. Por lo tanto, puede que exista diferencias entre los valores encontrados en el laboratorio y los que se obtienen en circunstancias prácticas de alimentación del hombre (Pellet y Young, 1980:48).

Uno o más de estos inconvenientes aplican a todos los métodos de evaluación proteínica en animales, y algunos métodos tienen defectos inherentes adicionales. La selección final de un método depende de la precisión y reproducibilidad requeridas, y del uso que se dará a los resultados obtenidos (Pellet y Young, 1980:48).

Los criterios utilizados en la selección de métodos biológicos con animales pueden agruparse en varias categorías, las cuales se muestran en el Cuadro No. 28:

Cuadro No. 28 Ensayos con ratas para determinar calidad proteínica

	Autor	Año
A. Ensayo de un solo nivel^a		
<i>1. Retención de nitrógeno</i>		
a. Diferencias entre ingesta y excreción	Mitchell	1924
b. Análisis de carcás, final contra inicial	Shukers & McCollum	1929
c. Análisis de carcás, final contra control apteínico	Bender & Millar	1953
<i>2. Ganancia de peso</i>		
a. Ganancia de peso por g de proteína ingerida	Osborne, Mendel & Ferry	1919
b. Ganancia y pérdida de peso en una dieta apteínica por g de proteína ingerida	Bendell & Doell	1957
c. Repleción de la rata	Cannon	1945
d. Mantenimiento de peso	Tomarelli & Bernhart	1947
B. Ensayos de niveles múltiples^b		
1. Pendiente de la línea entre balance de N y N absorbido	Allison & Anderson	1945
2. Pendiente de la línea entre crecimiento e ingesta de N	Hegsted & Chang	1965
3. Pendiente de la línea entre respuesta e ingesta de N	Hegsted, Neff & Worcester	1968
C. Otros Ensayos		
<i>1. Respuestas específicas</i>		
a. Regeneración de proteínas plasmáticas	Robscheit-Robbins & Whipple	1949
b. Regeneración de la proteína hepática	Harrison & Long	1945
c. Utilización de la proteína hepática	Campbell & Kosterlitz	1948
d. Oxidasa xantínica hepática	Mokady, Viola & Zimmermann	1969
e. Enzimas hepáticas	Litwack <i>et al.</i>	1952
<i>2. Índices abreviados</i>		
a. Creatinina urinaria/N total urinario	Murlin <i>et al.</i>	1948
b. Niveles de urea sanguínea	Munchow & Bergner	1967

^a Se refiere a la respuesta obtenida con un solo nivel de proteína, con o sin un grupo control apteínico.

^b La respuesta puede medirse por crecimiento o contenido de agua en el carcán.

FUENTE: Pellet & Young, 1980:49

El propósito de los ensayos con animales u otras metodologías para evaluar la calidad de la proteína es cuantificar la calidad nutricional como una característica de la proteína bajo prueba.

Todos los métodos usados comúnmente para evaluar la calidad de la proteína en animales de experimentación tratan de medir el cambio en la proteína corporal asociado con la ingesta de una proteína específica. A pesar de que no se ha demostrado que la composición corporal de ratas jóvenes alimentadas con varias dietas por un período limitado de tiempo sea consistente, es seguro que el porcentaje de la proteína corporal no sufre grandes variaciones y, por lo tanto, los cambios significativos en el peso total generalmente reflejan los cambios en la proteína corporal. La razón agua y proteína en el cuerpo es probablemente una medida más constante que la proteína corporal expresada como porcentaje del peso corporal. Estimaciones de la proteína, del agua y del peso corporales, sin embargo, pueden por lo general, considerarse como medidas de los mismos cambios, y pueden usarse más o menos alternadamente, aunque existen argumentos sobre la validez o utilidad de estas tres mediciones (Pellet y Young, 1980:50).

b. Métodos basados en cambios de peso corporal. El método más simple para determinar el valor nutritivo, es medir la tasa de crecimiento de animales jóvenes alimentados con la dieta sometida a prueba. Osborne, Mendel y Ferri tradujeron este concepto en una base cuantitativa, relacionando la ganancia de peso con la cantidad de proteína consumida; el índice obtenido fue denominado Índice de Eficiencia Proteica (PER). Dichos autores demostraron que el PER variaba con el nivel de proteína en la dieta y recomendaron que cada proteína fuese estudiada a su nivel óptimo (Derse, 1962:418).

El defecto más serio de que padece la prueba de PER es que no estipula ningún margen de tolerancia en lo referente a la proteína para mantenimiento y, en consecuencia, los valores obtenidos no son proporcionales; es decir, un valor de PER de 2 no es dos veces mejor que un valor de PER de 1.0. Por lo tanto, el PER no es apropiado para estimar la calidad de la proteína en un sistema de clasificación, donde el múltiplo de calidad por cantidad se considera como proteína utilizable. Se conoce que el resultado es dependiente de la dosis, pero no se puede aplicar ninguna corrección porque es un método que utiliza un solo nivel, y no se puede utilizar ninguna prueba interna para rectificar su validez (Pellet y Young, 1980:53).

El método conocido como Razón Proteica Neta (NPR) representa una mejora sobre el PER en el sentido de que se usa un grupo control alimentado con una dieta libre de proteína. En la práctica, el NPR es comparable al Utilización Proteica Neta (NPU), método ampliamente conocido y utilizado, que se basa en la retención de nitrógeno. Difiere en el sentido en que el primero se estima a partir de los cambios en peso corporal, mientras que el segundo mide los cambios en nitrógeno corporal (Pellet y Young, 1980:55).

c. Métodos basados en retención de nitrógeno. Son varios los métodos que usan la retención de nitrógeno como variable dependiente en un ensayo de evaluación de la calidad proteica. El más simple de ellos es el NPU, el cual mide la diferencia entre el nitrógeno del carcás (heces) de ratas alimentadas con una proteína de prueba y aquellas alimentadas con una dieta libre de proteína. El método que utiliza el análisis del carcás ha sido abreviado, determinando el contenido de agua corporal y derivando

la cantidad de nitrógeno a partir de la razón nitrógeno/agua de los animales previamente determinada (Bender & Millar, 1953:53).

Los ensayos también pueden basarse en los métodos de balance de nitrógeno, en los que se determina el nitrógeno ingerido y el excretado por ratas alimentadas con dietas que contienen una proteína de prueba o una dieta libre de proteína, de manera que la retención de nitrógeno se estima indirectamente. Esto también permite determinar la excreción de nitrógeno fecal y urinario de origen endógeno y metabólico. Por lo tanto, permite la determinación de la Digestibilidad Aparente (DA), Digestibilidad Verdadera (DV), Utilización Proteínica Neta (NPU) y Valor Biológico (VB). Pellet y Young, 1980:58).

D. Evaluación sensorial del producto

La evaluación sensorial de los alimentos es una función primaria del hombre. Éste, desde su infancia, y de forma más o menos consciente, acepta o rechaza los alimentos de acuerdo con la sensación que experimenta al observarlos y/o ingerirlos (Castellanos, 2003:20).

Su importancia tecnológica y económica es evidente, ya que, en última instancia, puede condicionar el éxito o el fracaso de los avances e innovaciones que se producen en la tecnología de alimentos. La industria alimentaria moderna aprovecha la información obtenida mediante el análisis sensorial para el diseño y desarrollo de nuevos productos, reformulación por reducción de costos o cambio de ingredientes o equipo y control de calidad (Castellanos, 2003:20).

Medir las propiedades sensoriales y determinar la importancia de estas propiedades con el fin de poder predecir la aceptabilidad del consumidor, representa el mayor compromiso de la evaluación sensorial para la industria (Castellanos, 2003:20).

Para realizar una prueba sensorial es necesario tener claros los objetivos que se desean alcanzar al realizar la misma. Las pruebas sensoriales se dividen en dos, según el objeto de estudio. Las pruebas empleadas para evaluar la preferencia, aceptabilidad o grado en que gustan los productos alimentarios, se conocen como pruebas orientadas al consumidor (pruebas afectivas). Las pruebas empleadas para determinar las diferencias entre productos o para medir características sensoriales se conocen como pruebas orientadas al producto (pruebas analíticas). (Witting, 1999:90).

1. Pruebas orientadas al consumidor (pruebas afectivas). El principal propósito de las pruebas afectivas es valorar la respuesta personal (preferencia y/o aceptabilidad) del consumidor hacia un producto, un prototipo de producto o características específicas del producto. Desde una perspectiva de ventas, las razones para realizar pruebas orientadas al consumidor entran en una de las siguientes categorías (Meilgaard, 1999:232):

- Mantenimiento del producto
- Mejora del producto
- Desarrollo de nuevos productos
- Valoración del mercado potencial

- Revisión de la categoría del producto
- Base de demanda

Para efectos del presente trabajo de investigación se hace énfasis en el uso de las pruebas afectivas en el desarrollo de nuevos productos; durante el ciclo de desarrollo de nuevos productos, las pruebas afectivas son necesarias en varios puntos cruciales, por ejemplo, grupo focal para evaluar el concepto o prototipo; estudios de viabilidad en los cuales el producto a prueba es presentado a los consumidores, permitiendo que ellos lo miren y toquen; pruebas de locación central durante el desarrollo del producto, para confirmar que las características del producto otorgan una mejora sobre la competencia; comparaciones controladas con la competencia durante la prueba de mercadeo; y finalmente pruebas de locación central y pruebas de uso en el hogar para determinar el grado de éxito alcanzado. Dependiendo de los resultados de las pruebas durante cada etapa y la habilidad del grupo de investigación, el desarrollo de un nuevo producto puede tomar desde unos meses hasta años (Meilgaard, 1999:232).

a. Pruebas afectivas cualitativas. Estas pruebas se refieren a aquellas que miden subjetivamente las respuestas de una muestra de consumidores hacia las propiedades sensoriales de un producto. Las pruebas cualitativas son utilizadas en las siguientes situaciones (Meilgaard, 1999:240):

- Para descubrir y entender las necesidades de los consumidores.
- Para valorar la respuesta inicial de los consumidores hacia un concepto de producto o un prototipo de producto.
- Para aprender la terminología de los consumidores al describir los atributos sensoriales de un concepto, prototipo o producto comercial. Las pruebas cualitativas afectivas permiten a los consumidores discutir los atributos del producto abiertamente.
- Para aprender acerca del conocimiento de los consumidores referente al uso particular de un producto.

En los métodos cualitativos descritos a continuación, se requiere un moderador o entrevistador entrenado.

1) Grupo focal. Para esta prueba se utiliza un grupo de 10 a 12 consumidores, seleccionados con base en un criterio específico (usuario del producto, consumo demográfico, etc.) reunidos por 1 a 2 horas con un moderador de grupo. El moderador presenta el sujeto de interés (producto) y facilita la discusión utilizando técnicas dinámicas. Según el artículo “Técnicas Cualitativas en investigación” (Guía para grupos focales, 2001) ésta técnica puede utilizar antes, durante y después de un proyecto de investigación para obtener la percepción y creencias que el grupo tiene sobre determinados servicios.

Para dirigir esta prueba es necesario un moderador, quien realiza las preguntas y además se requiere un relator que anota las respuestas y comentarios que provengan de los miembros del panel. Aunque los comentarios y sugerencias puedan parecer subjetivos, se ha comprobado que contribuyen a la formulación de nuevos productos (Castellanos, 2003:20).

Para presentar los resultados se debe hacer una interpretación de lo dicho por los panelistas y además se deben incluir todos los comentarios que hayan sido diferentes, agregando un conteo de aquellos que hayan sido iguales o muy parecidos (Castellanos, 2003:20).

La metodología de los grupos focales se describe a continuación: las dos técnicas principales usadas para recoger información en la metodología cualitativa son la observación participativa y las entrevistas en profundidad. Los grupos focales poseen elementos de ambas técnicas, y, aunque mantienen su unicidad y distinción como método de investigación, son como un modo de oír a la gente y aprender de ella (Morgan, 1998:9). Los participantes en los mismos encuentran la experiencia más gratificante y estimulante que las entrevistas individuales.

La muestra de estudio no responde a criterios estadísticos, sino estructurales, es decir, a su representatividad de determinadas relaciones sociales en la vida real. Las variables más significativas son las de edad, sexo, clase social, población y otros, que buscan obtener producciones de cada clase o conjunto (Guía para grupos focales, 2001)

En cuanto al número y tamaño de los grupos, las experiencias con esta técnica demuestran que el número de grupos puede ir de 2 a 10 (predominando los estudios con 4 a 5 grupos), según la naturaleza del tópico a investigar; y el tamaño de cada grupo que se ha demostrado más eficaz es el que se forma con 4 a 6 personas. Salirse de estos límites trae, generalmente, inconvenientes de diversa naturaleza (Guía para grupos focales, 2001)

También es importante la elección del espacio físico para realizar la reunión. No debe ser un local que evoque otro tipo de vivencias en los miembros del grupo, como el de reuniones gremiales, sindicales, etc.; es preferible un local neutro, pero, al mismo tiempo, que no los aleje demasiado del ambiente natural donde desarrollan sus vidas, pues ello crearía un factor de artificialidad inconveniente. Si se hace en torno a una mesa, es aconsejable que la mesa sea redonda, pues facilita espacialmente la comunicación; si la mesa es rectangular, no conviene que el investigador se siente en un frente como quien preside con autoridad (Guía para grupos focales, 2001)

La responsabilidad del investigador es externo durante todo el proceso de la reunión. No participa en la producción de las ideas, ni evalúa, aprueba o desaprueba el contenido de lo que va apareciendo; sólo guiará la reunión dando la palabra, si ello es necesario, trayendo la conversación hacia la temática en cuestión si hay interrupciones serias, pidiendo que concreten o integren sus ideas si hay dispersión, etc. (Guía para grupos focales, 2001)

Una reunión normal, para una investigación simple, puede durar 1 a 2 horas. En algunos casos, puede durar hasta 4. En todo caso, mucho dependerá de la dinámica particular del grupo y de la temática tratada, y será el director de la investigación el que decidirá cuándo un tema ha sido suficientemente cubierto y saturado para los fines que persigue la investigación ((Guía para grupos focales, 2001)

El moderador de la investigación irá observando cómo los miembros del grupo se involucran en el diálogo compartiendo ideas, opiniones y experiencias, y también debatiendo uno con otro sus puntos de vista y preferencias. Los textos deberán ser grabados y, en algunos casos, convendrá también registrar el vídeo, ya que el lenguaje no verbal es, a veces, más elocuente que el verbal y el contexto en que se producen las

ideas juega un papel determinante en la asignación de significados a las cosas. Los asistentes deberán conocer que se está grabando y estar de acuerdo con ello. Este material enriquecerá la observación directa presenciada por el investigador y será indispensable para el análisis posterior por parte de él (Guía para grupos focales, 2001)

2) Panel focal. Es una variante del grupo focal, en la cual se utiliza el mismo grupo de consumidores de 2 a 3 veces. El objetivo es hacer un contacto inicial con el grupo, tener una discusión sobre el tema, enviar al grupo a su casa para utilizar el producto y luego el grupo regresa para discutir sus experiencias (Meilgaard, 1999:244).

3) Entrevistas de uno en uno. Las pruebas afectivas en las cuales los consumidores son entrevistados personalmente son apropiadas en situaciones en las que el investigador necesita entender y sondear a cada consumidor o cuando el producto es demasiado sensible para un grupo focal. El entrevistador lleva a cabo entrevistas con 50 o más consumidores, utilizando un formato similar, pero indagando las respuestas del consumidor (Meilgaard, 1999:245).

b. Pruebas afectivas cuantitativas. Estas pruebas son aquellas que determinan la respuesta de un grupo grande (50 o varios cientos) de consumidores para un grupo de preguntas con respecto a preferencia, gusto, atributos sensoriales, etc. Son aplicables en las siguientes situaciones (Meilgaard, 1999:244):

- Para determinar la preferencia global para un producto por una muestra de consumidores que representan la población a la cual el producto es enfocado.
- Para determinar la preferencia de varios aspectos sensoriales (aroma, sabor, apariencia, textura).
- Para medir la respuesta del consumidor hacia un atributo específico del producto.

1) Pruebas de preferencia. Permiten a los consumidores seleccionar entre varias muestras si prefieren una sobre la otra, o si no tienen preferencia (Castellanos, 2003:20).

En esta prueba se permite degustar la muestra varias veces. Los resultados son analizados mediante una prueba binomial de dos extremos (Castellanos, 2003:20).

Las pruebas de preferencia se pueden clasificar como se muestra en el Cuadro No. 29:

Cuadro No. 29 Clasificación de las pruebas de preferencia

Tipo de prueba	Número de muestras	Preferencia
Preferencia pareada	2	Elección de una muestra sobre otra
Categoría de preferencia	3 o más	Orden relativo de preferencia de muestras
Preferencia múltiple pareada (todos los pares)	3 o más	Una serie de muestras pareadas con todas las muestras pareadas en todos los órdenes
Preferencia múltiple pareada (pares seleccionados)	3 o más	Una serie de muestras pareadas con una o dos muestras seleccionadas, pareadas con dos o más

FUENTE: Meilgaard, M., 1999.

2) Pruebas de aceptabilidad. Se emplean para determinar el grado de aceptación de un producto por parte de los consumidores. La aceptabilidad de un producto generalmente indica el uso real del producto (compra y consumo). (Castellanos, 2003:20)

En las pruebas de aceptabilidad, el producto es comparado con uno semejante (misma compañía) o el producto de la competencia, y se utiliza una escala hedónica para indicar el grado de aceptabilidad o inaceptabilidad, gusto o disgusto (Meilgaard, 1999:242).

Utilizando escalas relativas de aceptabilidad se puede inferir la preferencia; la muestra con calificación más alta es la preferida. Los mejores resultados se obtienen con escalas que son balanceadas, *e.g.* tienen el mismo número de categorías positivas y negativas (Meilgaard, 1999:242-244).

Para el análisis de los datos, se suma el total de los valores de posición asignados a cada muestra; se determinan los totales de valores de posición de todos los posibles pares de muestras utilizando la Prueba de Friedman (Castellanos, 2003:20).

3) Pruebas hedónicas. Las pruebas hedónicas están destinadas a medir cuanto agrada o desagrade un producto. En este método la evaluación del alimento resulta hecha indirectamente como consecuencia de la medida de una reacción humana (Wittig, 1999:84).

Se utiliza para estudiar en el laboratorio la posible aceptación del alimento. Se pide al juez que luego de su primera impresión responda cuánto le agrada o desagrade el producto, esto lo informa de acuerdo a una escala verbal numérica que se encuentra impresa en la ficha. La escala consta de 9 puntos, sin embargo, a veces es demasiado extensa por lo que se acorta a 7 ó 5 puntos (Wittig, 1999:84):

- 1= me disgusta extremadamente
- 2= me disgusta mucho
- 3= me disgusta moderadamente
- 4= me disgusta levemente
- 5= no me gusta ni me disgusta
- 6= me gusta levemente
- 7= me gusta moderadamente
- 8= me gusta mucho
- 9= me gusta extremadamente

Los resultados del panel se analizan por varianza, pero también pueden transformarse en puntaje y analizarse por cómputo.

- Descripción de la tarea de los panelistas: Se les pide evaluar muestras codificadas de varios productos, indicando cuanto les agrada cada muestra, en una escala de 9 puntos. En esta escala es permitido asignar la misma categoría a más de una muestra (Castellanos, 2003:20).
- Presentación de las muestras: Las muestras se pueden presentar todas al mismo tiempo o de una en una. La presentación simultanea de las muestras es preferible ya que es más fácil de administrar y le permite a los panelistas volver a evaluar las muestra hacer comparaciones (Castellanos, 2003:20).

- Análisis de datos (Castellanos, 2003:20):
 - i. Las categorías se convierten en puntajes numéricos del 1 al 9.
 - ii. Los puntajes numéricos se analizan utilizando análisis de varianza.
 - iii. Los valores F calculados se comparan con los valores F de las tablas de distribución de F a nivel de significancia de 5%, para determinar si existen diferencias significativas entre las medias del tratamiento o de los panelistas.
 - iv. Si el valor F calculado es superior al valor F tabulado, para el mismo número de grados de libertad, habrá evidencia de que hay diferencias significativas.
 - v. Una vez detectada una diferencia significativa, pueden hacerse pruebas de comparación múltiple, para determinar cuales son las medidas del tratamiento o de la población que difieren entre sí.

2. Pruebas orientadas al producto (pruebas analíticas). Las pruebas analíticas se realizan en laboratorios especiales de alimentos. Estas pruebas incluyen, las de diferencia, ordenamiento por intensidad, puntajes por intensidad y de análisis descriptivo. Las pruebas se realizan con paneles entrenados (Franco, et al. 2002:9).

a. Pruebas de triángulo. Utilizadas para determinar si es posible distinguir dos muestras entre sí. Además para determinar si ha ocurrido un cambio en la apariencia, sabor o textura de un alimento, por almacenamiento o cambio en el proceso o de un ingrediente. El tamaño y dirección de las diferencias no es especificada en esta prueba. Esta prueba es utilizada también para determinar la habilidad de los panelistas (Wittig, 1999:82).

b. Pruebas de ordenamiento para evaluar intensidad. Los panelistas ordenan las muestras de acuerdo a la intensidad perceptible de un atributo sensorial. En estas pruebas, aunque no dan información sobre la magnitud de la diferencia, indican las diferencias en la intensidad de un atributo (Wittig, 1999:82).

c. Pruebas de evaluación de intensidad con escalas. Se utilizan escalas lineales o categorizadas. Estas pruebas miden la magnitud de la diferencia y permiten ordenar las muestras de acuerdo al mayor o menor grado de intensidad de una característica (Wittig, 1999:82).

III. JUSTIFICACIÓN

Guatemala es un país con un alto porcentaje de la población subnutrida, cuya dieta alimentaria se caracteriza por el alto consumo de alimentos ricos en carbohidratos como el maíz y frijol y una baja frecuencia de consumo de alimentos de origen animal como las carnes. Es ampliamente conocido que tanto los cereales como las leguminosas son alimentos deficientes en alguno de los aminoácidos esenciales, en el caso del maíz es la lisina mientras que para el frijol lo es la metionina. Contrariamente los alimentos de origen animal tienen un patrón de aminoácidos esenciales completo, por lo cual son alimentos de alto valor biológico.

Actualmente el bajo poder adquisitivo de la población guatemalteca provoca que la dieta sea deficiente en calidad y cantidad, y monótona particularmente en el área rural, lo que repercute en la salud y productividad de muchos individuos, haciendo que persista una alta tasa de desnutrición.

Se ha demostrado ampliamente que la proteína del maíz es de baja calidad debido a su deficiencia en los aminoácidos limitantes lisina y triptófano. En el año 1964 fue descubierto que el gen opaco 2 empleado como marcador en la selección de maíz aumentaba considerablemente las cantidades de lisina y triptófano de sus proteínas debido a que controla la distribución de proteína en el grano de maíz.

Estudios realizados en Guatemala y otros países a lo largo de cuatro décadas han demostrado ampliamente la superioridad del maíz opaco 2 sobre el maíz común. Dichos estudios expresan que el valor biológico del maíz común es 45%, el valor biológico medio del maíz opaco 2 es de 80% y el del huevo del 96%. También se ha establecido que el valor proteínico del opaco 2 equivale al 90% del valor biológico de la proteína de la leche. Pese a ello, de todos los países consumidores de maíz, sólo Colombia, México y Guatemala se han esforzado en los últimos años por utilizar este maíz en sus cultivos nacionales.

El pan es un alimento de consumo masivo, indicado por el consumo del mismo en más del 80% de la población guatemalteca. Por lo tanto, como propuesta de investigación se desea desarrollar un producto de panificación tipo muffin, nutricionalmente mejorado haciendo una sustitución parcial de la harina de trigo por harina de maíz opaco 2, lo cual convertiría al pan en una mejor fuente de proteína. Con esto se lograría poner a disposición de la población un alimento de alto valor biológico y bajo costo, además de fomentar el aprovechamiento del maíz opaco 2.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo General

1. Formular un producto de panificación tipo muffin, por medio de la sustitución parcial de harina de trigo con harina de maíz opaco 2.

B. Objetivos Específicos

1. Establecer la combinación harina de trigo con harina de maíz opaco 2 que permita elaborar un producto de panificación tipo muffin con características nutricionales mejoradas y sensorialmente aceptables.
2. Analizar las propiedades físicas, químicas y nutricionales del producto obtenido.
3. Determinar la aceptabilidad del producto por el consumidor.

V. HIPÓTESIS

- A. La calidad proteica del muffin preparado por sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz opaco 2 es mayor a la del muffin preparado únicamente con harina de trigo.
- B. El producto obtenido por sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz opaco 2 es aceptable por el consumidor en relación a las características sensoriales de apariencia, olor y sabor.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Método experimental

- Variable dependiente: calidad proteica.
- Variable independiente: cantidad de harina de maíz opaco 2 que sustituye a la harina de trigo.
- Objeto de estudio: muffin parcialmente sustituido con harina de maíz opaco 2. tres niveles diferentes de sustitución: 80:20, 60:40 y 40:60.
- Objeto de comparación: muffin elaborado 100% con harina de trigo.
- Parámetros de medición:
 - Físicos: altura, ancho, volumen y peso.
 - Químicos: humedad, cenizas, fibra, grasa, proteínas y carbohidratos
 - Nutricionales o biológicos: Razón Proteica Neta (NPR) y Digestibilidad Verdadera.
 - Sensoriales: aceptabilidad por parte del consumidor.

B. Formulación

LUGAR: Servicio de alimentación Café Vienes, hotel Westin Camino Real Guatemala

1. Elección de receta para el producto, utilizando como fuente de información al chef pastelero (Señor Rigoberto Alonzo) del hotel Westin Camino Real. La receta estandarizada para el producto de comparación se observa en el Apéndice C.

2. Elección de los niveles de sustitución de harina de trigo por harina de maíz opaco 2. Se elaboraron muestras de muffin con cuatro distintas composiciones porcentuales de harina de trigo:harina de maíz opaco 2, a manera de obtener un producto con características organolépticas y físicas aceptables.

Harina de trigo	Harina de maíz opaco 2
100	0
80	20
60	40
40	60

FUENTE: Comunicación verbal R. Bressani, 2005

C. Conversión de la receta

LUGAR: cocina Café Vienes, hotel Westin Camino Real Guatemala

1. Fuente o materia prima: selección de ingredientes con base en funcionalidad, calidad, costo, disponibilidad, vida útil y estabilidad.

2. Elaboración de la harina de maíz opaco 2: se utilizó maíz sin cáscara con germen, el cual se descascaró en un pelador. Luego se procedió a moler el maíz descascarado en las instalaciones de la

empresa privada PREMIX, S. A., obteniendo una harina con textura similar a la harina de trigo.

3. Traducción científica: la formulación debe contener unidades numéricas reproducibles para poder replicarse en forma exacta. Cada ingrediente debe ser expresado en porcentaje de peso. Para registrar los datos se utilizó el formulario presente en el Apéndice A.

4. Preparación del producto: se elaboró el producto control y las tres formulaciones experimentales. El procedimiento se expresa en el formulario Apéndice C.

D. Evaluación física del producto control y productos experimentales.

Determinación de diferentes propiedades físicas de los muffins, como: altura, ancho, volumen y peso.

LUGAR: laboratorio de selección y preparación de alimentos, Universidad del Valle de Guatemala- Departamento de Nutrición.

1. Medición de altura y ancho:

- Se utilizó un grupo de 10 muestras de producto control y 10 muestras de cada una de las combinaciones harina de trigo: harina de maíz opaco 2.
- Se realizaron las mediciones de altura y ancho haciendo uso de una regla con precisión de ± 0.05 .
- Se calculó el promedio de cada dimensión por grupo de muestras.
- Se determinó la diferencia significativa entre muestras mediante análisis de varianza.

2. Medición de peso:

- Se utilizó un grupo de 10 muestras de producto control y 10 muestras de cada una de las combinaciones.
- Se realizó la medición de peso haciendo uso de una balanza analítica con precisión de ± 0.005 .
- Se calculó el promedio por grupo de muestras y determinó la diferencia significativa entre muestras mediante análisis de varianza.

3. Medición de volumen:

- Se utilizó un grupo de 10 muestras de producto control y 10 muestras de cada una de las combinaciones.
- Se midió el ancho y altura de cada una de las muestras.
- Se calculó el volumen del muffin mediante la fórmula del volumen de un cuerpo cilíndrico:
$$\text{Volumen} = \pi r^2 h$$
- Se calculó el promedio por grupo de muestras y determinó la diferencia significativa entre muestras mediante análisis de varianza.

E. Definición del producto

1. Determinación biológica de la calidad proteínica mediante Razón Proteica Neta (NPR) y Digestibilidad Verdadera (DV)
 - Lugar del ensayo: bioterio del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), sede Guatemala.

- Duración del ensayo: 14 días para NPR y 4 días para DV.
- Animales de experimentación: ratas machos destetadas, de 20 a 23 días de edad, 8 ratas por cada dieta.

a. Elaboración de la dieta control y experimental: para la elaboración de estas dietas fue necesario preparar una harina fina a partir del muffin. Se cortaron las muestras de muffin en pequeños trozos y se pusieron a secar en el horno desecador por 24 horas a una temperatura entre 60 a 65°C. Luego se procedió a moler el producto hasta obtener una harina fina. Para la dieta experimental se utilizó la combinación 60harina de trigo y 40 harina de maíz opaco 2.

b. Jaulas y distribución: se utilizaron jaulas individuales provistas de recipientes para alimentación. Para distribuir las ratas se realizó una distribución al azar para las dietas y las jaulas.

c. Composición de las dietas: se utilizaron cuatro grupos de animales para cuatro diferentes dietas:

Cuadro No. 30 Composición de las dietas control, referencia y experimentales

Dieta		Almidón	Aceite vegetal	Mezcla mineral	Mezcla de vitaminas	Agua
Libre de nitrógeno		90%	5%	4%	1%	ad libitum
Referencia (caseína)	11%	79%	5%	4%	1%	ad libitum
Control (muffin 100% trigo)	95%		-	4%	1%	ad libitum
Experimental (muffin con MO2)	95%		-	4%	1%	ad libitum

d. Registros: se llevaron registros del consumo de alimentos y el peso corporal de los animales semanalmente.

e. Determinación de la Razón Proteica Neta (NPR): a los 14 días, se calculó el NPR por cada dieta de la siguiente manera:

$$\text{NPR} = (\text{peso ganado del animal experimental} + \text{peso perdido del animal con DLN}) / \text{proteína consumida por el animal experimental}$$

f. Determinación de la Digestibilidad Verdadera (DV): durante los últimos 4 días del estudio, se realizó la recolección de las materias fecales de todos los animales. Las muestras fueron secadas en horno a 65°C durante 24 horas, luego se pesaron y molieron hasta obtener un polvo fino. Por cada dieta se seleccionaron 4 animales y se determinó el porcentaje de proteína por el método de Kjeldahl, la determinación fue realizada en duplicado. Al obtener los datos de proteína se determinó la DV de la siguiente manera:

$$\text{Proteína ingerida (g)} = \text{alimento ingerido} * \% \text{proteína en dieta}$$

$$\text{Proteína en heces} = \text{materias fecales (g)} * \% \text{proteína en heces}$$

$$\% \text{ Digestibilidad Verdadera} = \frac{\text{proteína ingerida} - \text{proteína en heces de dieta} + \text{proteína en heces DLN}}{\text{proteína ingerida}}$$

2. **Análisis proximal del nuevo producto.** Se realizó un análisis proximal de las muestras elaboradas (control y experimentales), cuantificado con los siguientes métodos. Los análisis se realizarán en duplicado para cada muestra.

- Método oficial de la AOAC para determinación del porcentaje de humedad (No. 14.004, método directo). *vid* Apéndice F.
- Método oficial de la AOAC para determinación del porcentaje de cenizas (No. 14.006, método directo). *vid* Apéndice F.
- Método oficial de la AOAC para determinación del porcentaje de grasa (No. 14.028, extracto etéreo). *vid* Apéndice F.
- Método oficial de la AOAC para determinación del porcentaje de proteína (No. 14.026, Kjeldahl). *vid* Apéndice F.
- Método oficial de la AOAC para determinación del porcentaje de fibra dietética (No. 45.4.07). *vid* Apéndice F.
- Método para determinación del porcentaje de carbohidratos (método de diferencia). *vid* Apéndice F.

3. **Grupo focal.** Se realizó una prueba de grupo focal para determinar cual de las combinaciones harina de trigo con harina de maíz opaco 2 tenía mayor aceptabilidad en los consumidores. Los resultados de esta prueba identificaron la formulación que representó la dieta experimental en la prueba biológica, es decir la que obtuvo mayor aceptabilidad entre los panelistas. Así mismo los comentarios de los panelistas permitieron realizar mejoras al producto en sus aspectos sensorialmente evaluados, los cuales fueron tratados antes de realizar la segunda etapa de prueba sensorial (escala hedónica)

- Locación: Universidad del Valle de Guatemala, laboratorio de análisis sensorial.
- Características de los panelistas: grupo de 8 panelistas, de ambos sexos, con edades entre 18 a 40 años de edad, entrenados previamente como panel sensorial.
- Materiales y Equipo:
 - 8 muffins combinación 80/20
 - 8 muffins combinación 60/40
 - 8 muffins combinación 40/60
 - 24 platos desechables pequeños
 - 24 vasos desechables pequeños
 - Servilletas
 - Agua pura
 - Cámara de video
 - Cassette de video

- Procedimiento:
 - Introducción y presentación del moderador (a). Se notificó a los panelistas que la reunión sería grabada.
 - Discusión, utilizando la guía de discusión para grupo focal presentada en el Apéndice D.
 - Cierre, agradecimiento por la participación, resumen de la discusión grupal y despedida.
- Tabulación e interpretación de resultados: Interpretación de los comentarios realizados por los panelistas, conteo de comentarios parecidos o iguales. Elección de la fórmula que haya tenido menos comentarios negativos y/o más comentarios positivos.

4. Prueba hedónica

a. Objetivos

- Evaluar el grado de aceptabilidad hacia la apariencia, olor y sabor del muffin sustituido parcialmente con harina de maíz opaco 2, a través de una prueba hedónica con potenciales consumidores.

b. Recursos

- Lugar: Universidad del Valle de Guatemala, laboratorio de análisis sensorial.
- Panelistas: grupo de 25 panelistas, de ambos sexos, con edades entre 18 a 50 años de edad.

c. Materiales y Equipo:

- 50 muffins combinación elegida por grupo focal
- 50 platos desechables pequeños
- 50 vasos desechables pequeños
- Servilletas
- Agua pura

- d. Método: Se les pidió evaluar la muestra, indicando cuanto les agradaba en una escala de 7 puntos.

Se utilizó la boleta para prueba hedónica, presentada en el Apéndice E

e. Análisis de datos:

- Las categorías se convierten en puntajes numéricos del 1 al 7.
- Los puntajes numéricos se analizarán utilizando análisis de varianza.
- Los valores F calculados se comparan con los valores F de las tablas de distribución de F al nivel de significancia de 5 %, para determinar si existen diferencias significativas entre las medias del tratamiento o de los panelistas.
- Si el valor F calculado es superior al valor F tabulado, para el mismo número de grados de libertad, habrá evidencia de que hay diferencias significativas.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en los resultados y en la teoría descrita en el marco teórico de la presente investigación, a continuación se procede a presentar los resultados obtenidos así como la discusión de los mismos, considerando cubrir los objetivos planteados.

A. Formulación del producto. El trigo y el maíz opaco 2 constituyeron la materia prima base para la elaboración del nuevo producto, la combinación de estos dos cereales permitiría una mejor calidad nutritiva, especialmente la de proteína. Ambos cereales deben ser mezclados al momento de elaborar un producto de panificación ya que el maíz, al ser más pobre en gluten, resulta tener cualidades panificables inferiores respecto al trigo. Teóricamente los diferentes niveles de sustitución no deben sobrepasar el 25% ya que se obtendría un producto de pobre calidad organoléptica, sin embargo, se decidió elaborar otros niveles de sustitución sobrepasando dicho límite. Los diferentes niveles de sustitución de harina de trigo por harina de maíz opaco 2 iniciaron con un 20%, aumentando al 40% y finalmente un 60%.

Durante la preparación de las masas, las diferencias notables estuvieron relacionadas con el brillo y peso de la masa; a mayor sustitución de trigo por maíz opaco 2 la masa se tornaba pesada sin llegar a dificultar el manejo de la misma. En cuanto al brillo, éste también fue decreciendo conforme el nivel de sustitución aumentaba lo cual se notó no solamente en la masa, sino en el producto final horneado. A pesar de dichas diferencias, todas las masas se pudieron manejar aceptablemente. Durante la elaboración del producto se evitó el exceso en el batido, con lo cual se conservaron las propiedades de retención de gas que otorga la harina de trigo, de otra manera el producto final que se obtendría sería asimétrico, de bajo volumen y migajón grueso. Lo anterior contribuyó grandemente en las características físicas (ancho, alto, peso y volumen) de los muffins, evitando variación entre las distintas sustituciones.

En la elaboración de productos de panificación existen dos puntos críticos: la incorporación de aire a la mezcla de grasa y azúcar, y el afinado de la masa. Para el primer punto crítico se tuvo cuidado de incorporar ambos ingredientes de manera que la grasa quedara uniformemente repartida hasta obtener una masa fina, sin grumos. El afinado de la masa el cual se refiere al batido, en el caso de los muffins, no debe ser prolongado sino únicamente hasta lograr una mezcla homogénea lo cual fue controlado mediante tiempo específico de batido.

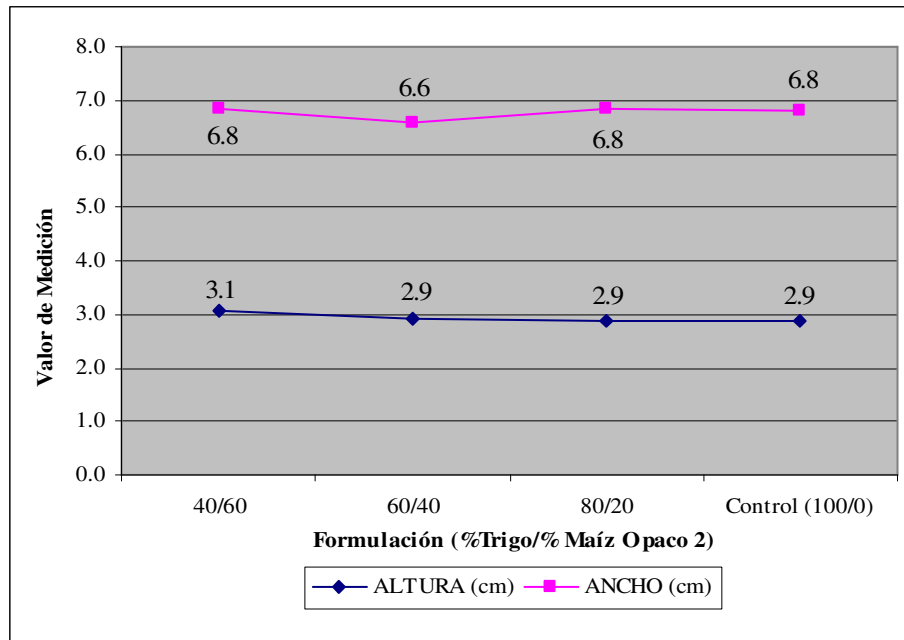
El tiempo de horneado promedio fue de 35 minutos y se observaron pocas variaciones en el tiempo para las diferentes formulaciones. A simple vista, los productos finales obtenidos eran muy semejantes en color y tamaño, sin embargo, para determinar diferencias en las características físicas se procedió a realizar el análisis físico de las diferentes sustituciones, así como del producto control.

B. Análisis físico. Como es sabido, el trigo contiene gluten el cual proporciona las propiedades elásticas, esponjamiento, solidez y estructura que necesitan los productos de panificación. Por ello para conseguir un pan ligero y esponjoso es indispensable utilizar un cereal como el trigo y si se desea sustituirlo deberá ser en un porcentaje menor para evitar cambios físicos indeseables. Al realizar la sustitución del trigo por el maíz opaco

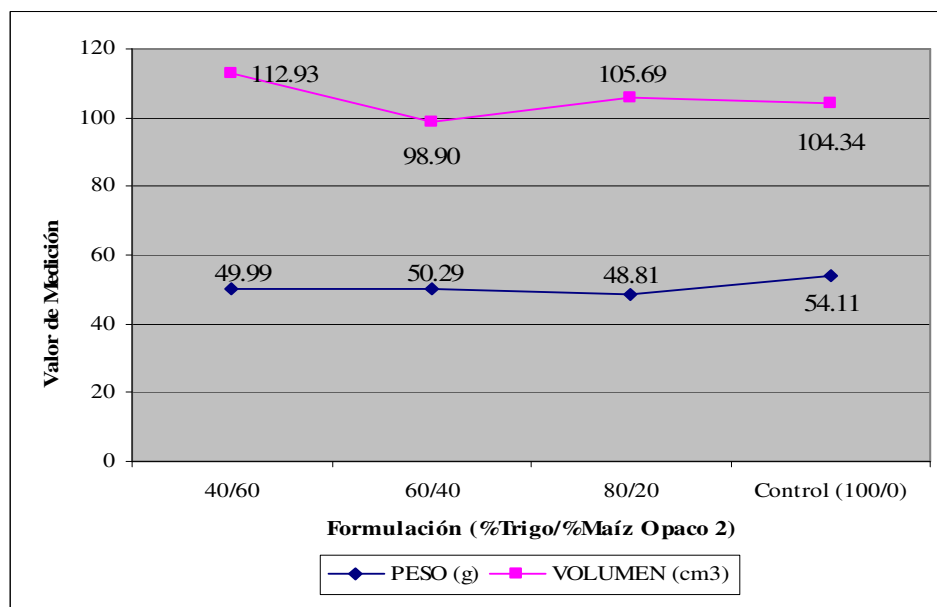
2 en la elaboración del muffin se tenía el conocimiento teórico que podrían afectarse propiedades como el volumen, estructura, miga, rendimiento y sabor.

La evaluación tangible de las características físicas del pan consistió en la medición de altura, ancho, peso y volumen de los muffins, consideradas como las mediciones más importantes en un producto de este tipo. La obtención de estos datos se realizó con una muestra de 10 unidades al azar por cada una de las combinaciones trigo y maíz opaco 2 así como del producto control, los datos originales se encuentran en la sección de Apéndices. Los datos promedio por cada una de las mediciones físicas se pueden observar en las Gráficas No. 1 y 2, en las cuales se nota que los valores difieren poco entre las distintas sustituciones.

Gráfica No. 1 Comparación de promedios de las mediciones de altura y ancho de las formulaciones



Gráfica No. 2 Comparación de promedios de las mediciones de peso y volumen de las formulaciones



Por evaluación visual las diferencias entre las mediciones fueron poco detectables, sin embargo, los datos originales fueron analizados por medio de análisis de varianza (95% nivel de confianza) para determinar si existían diferencias significativas entre las diferentes sustituciones parciales. Los resultados del análisis (*vid* Cuadro No. 31) demuestran que para las variables ancho, peso y volumen si existe diferencia significativa entre las distintas sustituciones, dicho de otra manera al menos dos combinaciones difieren significativamente entre sí. Por su parte la altura, la cual representa el crecimiento longitudinal del producto, fue la única variable que no presentó diferencia significativa al ser comparada entre las formulaciones, contrario a lo que se esperaría ya que, según datos teóricos, a mayor sustitución de harina de trigo menor será el crecimiento del pan debido a la carencia de gluten en el maíz.

Cuadro No. 31 Análisis de varianza (95% nivel de confianza) entre los muffins con las diferentes sustituciones de harina, para el análisis físico

Medición	F experimental	F crítica	Interpretación
ALTURA	2.74	< 2.96	No hay diferencia significativa
ANCHO	3.14	> 2.96	Si hay diferencia significativa
PESO	3.23	> 2.96	Si hay diferencia significativa
VOLUMEN	3.34	> 2.96	Si hay diferencia significativa

También se procedió a realizar el análisis de varianza para las mediciones físicas comparando cada uno de los objetos de estudio (80/20, 60/40 y 40/60) contra el producto control, ya que es el objeto de comparación en la presente investigación. Con respecto a dicho análisis (*vid* Cuadro No. 33) fueron detectadas dos diferencias significativas: la altura del muffin 40/60 es diferente a la del muffin control y el peso del muffin 80/20 lo es del muffin control. Para el resto de comparaciones no se encontraron diferencias significativas, con lo cual se puede asegurar con un 95% de confianza que los productos sustituidos parcialmente no difieren en su volumen y ancho del producto control. Estos datos difieren de los datos teóricos en cuanto al uso del maíz en panificación, ya que en lo correspondiente a crecimiento del pan este no difirió por el hecho de estar sustituido parcialmente con harina de maíz.

Cuadro No. 32 Análisis de varianza (95% nivel de confianza) entre los muffins con las diferentes sustituciones de harina respecto al producto control

Medición	Comparación (trigo/maíz opaco 2)	F experimental	F crítica	Interpretación
ALTURA	40/60 vs. Control	9.47	> 5.11	Si hay diferencia significativa
	60/40 vs. Control	0.09	< 5.11	No hay diferencia significativa
	80/20 vs. Control	1.85E-15	< 5.11	No hay diferencia significativa
ANCHO	40/60 vs. Control	0.14	< 5.11	No hay diferencia significativa
	60/40 vs. Control	3.28	< 5.11	No hay diferencia significativa
	80/20 vs. Control	0.24	< 5.11	No hay diferencia significativa
PESO	40/60 vs. Control	3.21	< 5.11	No hay diferencia significativa
	60/40 vs. Control	3.21	< 5.11	No hay diferencia significativa
	80/20 vs. Control	16.68	> 5.11	Si hay diferencia significativa

Medición	Comparación (trigo/maíz opaco 2)	F experimental	F crítica	Interpretación
VOLUMEN	40/60 vrs. Control	4.67	< 5.11	No hay diferencia significativa
	60/40 vrs. Control	1.67	< 5.11	No hay diferencia significativa
	80/20 vrs. Control	0.11	< 5.11	No hay diferencia significativa

De los resultados analizados se puede decir que:

- Al menos el peso, altura y volumen de dos formulaciones son significativamente diferentes entre sí.
- La combinación 60/40 fue la única formulación en la cual no se detectaron diferencias significativas para ninguna de las mediciones con respecto al producto control.
- Todas las combinaciones elaboradas no difieren significativamente del producto control en lo que respecta a volumen y ancho.

A partir de estos resultados, todas las formulaciones elaboradas podrían constituir la combinación harina de trigo con harina de maíz opaco 2 que se buscaba como producto final. Sin embargo, no es posible seleccionar un producto basado únicamente en las mediciones físicas aceptables, por lo que fue necesario determinar cuál de los muffins elaborados tenía mejores atributos sensoriales.

C. Análisis químico. Dado el enfoque nutricional y proteínico de la presente investigación, fue necesario realizar una evaluación química de la materia prima con el objeto de conocer la base nutricional del producto a ser elaborado. Para el caso del producto elaborado fue indispensable analizar tanto la harina de trigo como la harina de maíz opaco 2. Los resultados del análisis proximal se presentan en el Cuadro No. 33, en los cuales se observa la distribución de cada harina por 100 g.

Según los resultados obtenidos para la composición nutricional de ambas harinas se observa diferencia significativa en el contenido de proteína, aportando la harina de trigo un 13.03% en comparación con un 10.64% de la harina de maíz opaco 2. Sin embargo, la calidad de una proteína depende no únicamente de su cantidad sino de la proporción de aminoácidos esenciales que contienen, con respecto a ello se puede mencionar que según estudios de la FAO (Cuadro No. 25), la calidad de la proteína del maíz opaco 2 está por encima del trigo esencialmente por su mayor contenido en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano. En otras palabras, aunque el contenido de la proteína del maíz opaco 2 sea menor que el trigo, ésta constituye una proteína de alto valor biológico. En relación a la proteína del trigo, ésta reportó un nivel de proteína mayor al maíz debido a que es harina de trigo duro la cual se caracteriza por un mayor contenido proteínico por el tipo de grano del que proviene. A pesar de ello como se menciono anteriormente el trigo no es considerado como fuente de proteína de alto valor biológico por el patrón de aminoácidos que reporta.

En cuanto al contenido de grasa, la harina de trigo obtuvo 1.43% mientras que el maíz opaco 2 un 4.98%. La grasa del trigo está constituida principalmente por carotenos los cuales le otorgan el color amarillento a la harina. En el caso del maíz opaco 2 la grasa proviene del aceite del grano y puede variar su contenido entre 3 a 18%, con un bajo nivel de ácidos grasos saturados y niveles elevados en ácidos grasos poliinsaturados. El contenido de

carbohidratos fue determinado por diferencia, reportando niveles entre el 75 a un 80% siendo el macronutriente principal por el tipo de alimento que se evaluó, los cereales (trigo y maíz).

Cuadro No. 33 Composición nutricional de la materia prima (100 g de muestra)

Componente	Harina de trigo dura	Harina de maíz opaco 2
Proteína	13.03 ± 0.20	10.64 ± 0.46
Grasa	1.43 ± 0.29	4.98 ± 1.05
Carbohidratos	74.19 ± 0.22	77.03 ± 0.64
Humedad	10.50 ± 0.003	5.35 ± 0.01
Cenizas	0.48 ± 0.01	1.64 ± 0.04
Fibra	0.25 ± 0.020	0.32 ± 0.35
Energía (Kcal.)	362	396

El contenido de humedad determinado en las harinas varía notablemente, encontrándose un 5.35% de humedad en la harina de maíz opaco 2 y aproximadamente el doble en la harina de trigo (10.5%). Cabe destacar que la humedad es uno de los componentes determinantes en la vida útil de los alimentos ya que el riesgo de deterioro aumenta mientras más alto sea su valor. Por lo tanto, podría decirse que, de las harinas analizadas, la harina de maíz opaco 2 sería menos susceptible de deterioro por su bajo contenido de humedad en comparación con la harina de trigo.

Según Prera (2001) la harina de trigo dura se caracteriza por un bajo contenido de cenizas, lo cual es sustentado con el valor experimental obtenido (0.48%). En contraste, el contenido de cenizas de la harina de maíz opaco 2 (1.64) triplica la cantidad encontrada en la harina de trigo. En cuanto al contenido de fibra, se pudo observar que ambas harinas contienen un bajo contenido de la misma por lo que no constituyen una buena fuente de este nutriente, la razón por la cual sucede esto es que ambos granos son desprovistos de su pericarpio (cubierta seminal) previo a su molienda y dicha parte se caracteriza por un elevado contenido de fibra (hasta un 90%).

El contenido energético de las harinas fue determinado utilizando los valores de macronutrientes (gramos) y multiplicándolos por el valor energético que aportan cada uno de ellos: grasas = 9 Kcal., proteínas = 4 Kcal. y carbohidratos = 4 Kcal. Con dichos cálculos se obtuvo un valor de 362 Kcal. por cada 100 g de harina de trigo y 396 Kcal. para la harina de maíz opaco 2.

A pesar, que solamente una de las combinaciones del muffin sería evaluada en el estudio biológico fue necesario determinar la composición nutricional de todas las combinaciones. Los datos del análisis proximal fueron determinados en duplicado para cada muestra y por cada componente, los valores promedio calculados se presentan en el Cuadro No. 34.

Respecto al contenido de proteína de los muffins, se observa que conforme la sustitución de harina de trigo por harina de maíz opaco 2 aumenta el nivel proteínico decrece, iniciando en 9.07% para el muffin control y disminuyendo hasta 7.90% para el muffin 40/60. Adicionalmente es bien conocido que las proteínas del pan tradicional, hecho de trigo, no entran dentro del grupo de las de elevado valor biológico por lo que aun siendo rico en algunos nutrientes, el pan presenta carencias especialmente en lo referente a los aminoácidos esenciales. Por lo tanto, a pesar, que la cantidad de proteína disminuye, la calidad proteínica aumenta con la sustitución de

trigo por maíz opaco 2 ya que éste último provee en mayor cantidad el aminoácido lisina el cual se encuentra limitante en el trigo. Es decir, la sustitución parcial permite un mejor patrón de aminoácidos, con lo cual el pan deja de ser un producto con proteína de bajo valor biológico. Dicha afirmación se sustenta con los hallazgos de FAO (1993) y Bressani (1968,1991) en los cuales se confirma el mayor contenido de los aminoácidos lisina y triptófano en el maíz opaco 2 comparado al maíz común y otros cereales como el trigo.

Cuadro No. 34 Composición nutricional de los muffins con las diferentes sustituciones de harina y el producto control (100 g de muestra)

Componente	Control (100% trigo)	80% trigo/ 20% maíz opaco 2	60% trigo/ 40% maíz opaco 2	40% trigo/ 60% maíz opaco 2
Proteína	9.07 ± 0.16	8.98 ± 0.02	8.56 ± 0.26	7.90 ± 0.63
Grasa	28.02 ± 0.28	28.02 ± 0.28	28.02 ± 0.28	28.02 ± 0.28
Carbohidratos	34.85 ± 0.04	35.76 ± 0.59	35.95 ± 0.72	37.47 ± 0.66
Humedad	26.17 ± 0.18	24.69 ± 0.13	24.70 ± 0.16	24.54 ± 0.46
Cenizas	1.56 ± 0.01	1.75 ± 0.14	1.68 ± 0.002	1.53 ± 0.13
Fibra	0.29 ± 0.32	0.77 ± 0.21	1.06 ± 0.65	0.50 ± 0.37
Energía (Kcal.)	428	431	430	434

Además de mejorar la calidad proteica del pan, el uso del maíz opaco 2 en productos comerciales puede tener importantes repercusiones económicas para el país derivadas de la mejor utilización de lo que se produce y consume. El fomento en la utilización nacional de esta variedad de maíz puede contribuir a disminuir la importación del trigo, manteniendo al maíz como cereal base en la dieta del guatemalteco pero siendo éste un alimento de mayor valor proteínico que las variedades de maíz actualmente utilizadas. Además diversos estudios agronómicos han demostrado que el maíz con calidad proteica y el maíz común no presentan diferencias en cuanto a prácticas de cultivo, rendimiento por unidad de superficie y calidad material del grano.

Por otra parte, el contenido graso de los productos se mantuvo constante para las cuatro combinaciones constituyendo un 28.02%. La grasa del producto se encuentra dentro de los límites recomendados por Prera (2001) para el pan dulce y la fuente de la misma fue principalmente la margarina utilizada. Las propiedades provistas por este ingrediente son: efecto lubricante, masa suave, agradable y uniforme, además aumenta el valor nutritivo y mejora el volumen del producto.

Relacionado al contenido graso se encuentra el contenido de humedad, el cual varió en un rango de 24.54 a 26.17%. Teóricamente a mayor cantidad de humedad en un producto menor es el tiempo de vida útil del mismo, sin embargo, la grasa tiene la función de cubrir la miga de pan con una película que retiene la humedad aumentando la vida útil. Por lo tanto, el alto contenido de humedad y grasa forma una combinación funcional para la vida útil del muffin.

Con relación al contenido de fibra cruda, solamente la combinación 60/40 muestra un valor muy por encima de lo esperado según los datos encontrados para la materia prima sin llegar a ser lo suficientemente alto como para ser considerado un alimento alto en fibra. El muffin control obtuvo un valor bastante cercano al encontrado

para la harina de trigo, con lo cual podría pensarse que el proceso de horneado no afectó el contenido de fibra de la harina, sin embargo, en la formulación existían otras fuentes de fibra como el maíz en grano (*vid* Apéndice C).

D. Análisis biológico. La mejor forma de evaluar la proteína de un alimento es partiendo de lo más simple a los más complejo. En esta investigación se inició con la determinación química, se prosiguió con la Razón Proteica Neta (NPR) y se complementó con un estudio de Digestibilidad Verdadera (DV), los dos últimos constituyen las pruebas biológicas en animales experimentales (ratas).

Para el análisis biológico se utilizaron cuatro dietas diferentes, las cuales se encuentran detalladas en el Cuadro No. 35. La dieta 1 la constituyó el muffin control (100% trigo) ya que fue definido como el objeto de comparación para esta investigación; la dieta 2 fue el muffin parcialmente sustituido con la combinación 60% trigo y 40% maíz opaco 2 el cual era el objeto de estudio y fue seleccionado como la combinación con mejores características sensoriales según el grupo focal; la dieta 3 fue la caseína ya que constituye el modelo de proteína patrón según la FAO; por último la dieta 4 era la dieta libre de nitrógeno, sin fuente proteica, la cual es utilizada para determinar las pérdidas insensibles de nitrógeno endógeno.

Cuadro No. 35 Composición de las dietas utilizadas en el análisis biológico

	Dieta 1 (control)	Dieta 2 (muffin 60/40)	Dieta 3 (caseína)	Dieta 4 (DLN¹)
Harina control (100% trigo)	95.0	-	-	-
Harina experimental (60/40 T/MO2)	-	95.0	-	-
Caseína	-	-	11.0	-
Mezcla mineral	4.0	4.0	4.0	4.0
Mezcla vitamínica	1.0	1.0	1.0	1.0
Aceite vegetal	-	-	5.0	5.0
Almidón	-	-	79.0	90.0
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0
% proteína en la dieta	7.65%	7.32%	10.60%	0%

¹Dieta Libre de Nitrógeno

Los métodos para evaluar la calidad proteínica basados en el cambio de peso corporal tales como el NPR, deben llevar el registro de la ganancia de peso así como de la cantidad de proteína consumida. El período de registro para NPR puede ser de 14 o 28 días, por lo que es importante mencionar que los datos presentados corresponden a un periodo de 14 días. En el caso de la DV es necesario registrar tanto la ingesta de alimento como la excreta de materias fecales durante cierto período, en este estudio se realizó una recolección correspondiente a 4 días. En el Cuadro No. 36 se exponen los valores promedio obtenidos para las variables mencionadas, las cuales fueron medidas en los 8 animales asignados a cada dieta lo que da un total de 32 ratas evaluadas.

Según los datos reportados, la caseína fue la dieta que registró en promedio un mayor aumento de peso así como una mayor ingesta de alimento, atribuido a que es una proteína patrón, es decir su patrón de aminoácidos

es completo y su valor biológico también. El aumento promedio de peso para la caseína (66.87 g) duplica el valor reportado tanto para la dieta control (27.12 g) como la dieta experimental (28.00 g). Al comparar la dieta control (dieta 1) con la dieta experimental (dieta 2) se observa un leve aumento en cuanto la ganancia de peso y alimento consumido por las ratas de la dieta 2. Con relación a la dieta 4 (DLN) se observa que el valor promedio del aumento de peso es negativo, en otras palabras hubo una pérdida de peso en lugar de una ganancia. Este hecho es esperado ya que la dieta libre de nitrógeno no provee fuente proteínica para favorecer el crecimiento de la rata por lo cual el animal sobrevive con la producción endógena de nitrógeno. Respecto a la cantidad de materia fecal excretada, la dieta 4 fue la que reportó la menor cantidad promedio (0.30) atribuido a la ingesta nula de proteína y a la menor cantidad de alimento ingerido en comparación con el resto de las dietas. Los valores de heces excretadas de la dieta 1 y dieta 2 sobrepasan por más del doble a lo reportado por la caseína, sin embargo, lo que debe interpretarse es el aprovechamiento de la proteína expresado como la DV la cual será discutida más adelante.

Cuadro No. 36 Datos promedio determinados en ratas experimentales

Dato (gramos)	Dieta 1 (control)	Dieta 2 (muffin 60/40)	Dieta 3 (caseína)	Dieta 4 (DLN)
Aumento de peso	27.12 ± 4.18	28.00 ± 4.0	66.87 ± 6.01	- 7.37 ± 2.87
Alimento ingerido	119.5 ± 13.98	126.0 ± 9.11	205.25 ± 11.37	71.87 ± 3.44
Heces excretadas (4 días)	2.42 ± 0.55	2.75 ± 0.43	1.20 ± 0.38	0.30 ± 0.07

El propósito de la determinación del NPR fue evaluar la calidad de la proteína, midiendo el cambio en el peso corporal asociado con la ingesta de una proteína específica. Este método fue seleccionado porque además de determinar la utilización de la proteína considera las pérdidas insensibles utilizando un grupo de ratas alimentadas con dieta libre de nitrógeno. Como se mencionó con anterioridad, el NPR puede ser determinado en 14 o 28 días, sin embargo, se ha visto que durante uno y otro período el porcentaje de proteína corporal no sufre grandes variaciones.

El registro individual de la ganancia de peso, alimento total consumido y excreta de materiales fecales de las ratas puede observarse en el Apéndice G. Utilizando estos datos y conociendo el porcentaje de proteína de cada una de las dietas se calcularon los datos expuestos en el Cuadro No. 37, para cada una de las ratas así como el valor promedio del grupo.

Según los datos presentados se observa que se dio un aumento del NPR promedio tanto para la dieta control como la experimental por encima de la caseína, contrario a lo esperado. Lo cual puede estar relacionado a que uno de los ingredientes del producto es el huevo, el cual es un alimento con proteína de alto valor biológico y dentro de sus aminoácidos se encuentran los azufrados los cuales están en menor cantidad en la caseína. A pesar de ello, el huevo no puede ser omitido de la preparación ya que constituye el medio de incorporación de aire para la masa, contribuye a la elasticidad del batido, estructura del muffin y permite emulsificar los ingredientes líquidos. Otra de las posibles razones por la cual el NPR de la caseína fue menor al esperado, radica en la composición proteica de cada dieta (*vid* Cuadro No. 35) lo cual afecta directamente el cálculo del valor NPR, ya que la dieta control y experimental al tener valores más bajos de composición proteínica resultan en un

denominador menor que para la dieta de la caseína y por lo tanto aumentan el valor final de la razón proteica neta. Este problema puede evitarse al determinar la composición proteínica de cada dieta previo a iniciar el estudio biológico, con lo cual las dietas podrían ser ajustadas de manera que aporten el mismo valor proteico y los datos calculados puedan ser comparables; en otras palabras, al conocer que la dieta experimental y control poseían un valor más bajo que la caseína debió adecuarse la cantidad de alimento dado de manera que toda las dietas aportaran cerca del 10% de proteína (caseína).

Por otra parte, el NPR del muffin experimental (3.82 ± 0.20) sobrepasa el obtenido para la dieta control (3.78 ± 0.33), por lo cual la sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz opaco 2 incremento tanto la ganancia de peso como el NPR sustentando el hecho que a pesar del menor porcentaje de proteína reportado para el muffin experimental versus el muffin control, la calidad proteínica del muffin parcialmente sustituido es mejor.

Cuadro No. 37 Razón proteica neta (NPR) en ratas experimentales

No. Rata	Dieta 1 (control)	Dieta 2 (muffin 60/40)	Dieta 3 (caseína)
1	3.96	3.87	3.91
2	4.35	3.64	3.58
3	3.85	4.01	3.13
4	3.72	4.02	3.07
5	3.70	3.59	3.54
6	3.55	3.54	3.18
7	3.88	4.08	3.58
8	3.19	3.79	2.90
	3.78 ± 0.33	3.82 ± 0.20	3.36 ± 0.34

La digestibilidad verdadera constituye una manera de establecer la retención de nitrógeno ingerido, los valores bajos de DV se relacionan con una pobre retención por lo que valores elevados indican una excelente retención. En esta prueba se determinó el nitrógeno ingerido y el excretado por las ratas alimentadas con las cuatro dietas, de manera que la retención de nitrógeno fue estimada indirectamente. Las pérdidas metabólicas en las heces se determinaron a partir de la cantidad de aminoácido excretada por los animales alimentados con la dieta libre de nitrógeno (dieta 4). Los análisis de DV se realizaron con las materias fecales recolectadas, las cuales fueron secadas en horno previo a ser molidas; luego se determinó en duplicado el contenido proteico en las heces lo cual se realizo mediante el método de Kjeldahl. Los datos utilizados para el cálculo de la DV se presentan en el Apéndice G y los resultados se observan en el Cuadro No. 38.

Los resultados obtenidos muestran una DV mayor al 100% para las tres dietas analizadas, siendo la caseína la que obtuvo el mayor valor (104.06%). Dicho valor es mayor que el reportado por Pradilla y colaboradores (1973), el cual es del 98%. Con respecto a la DV de la dieta experimental (101.27%) se observa que es menor que la dieta control (102.37%) sin llegar a ser deficiente, ya que sobrepasa el 100% de la retención de nitrógeno. El

valor del muffin parcialmente sustituido se encuentra dentro del rango reportado por Young y colaboradores (1971) para el maíz opaco 2, el cual puede variar entre 86 a 106% con promedio de 92%.

Cuadro No. 38 Porcentaje de digestibilidad verdadera de la proteína en ratas experimentales

No. Rata	Dieta 1 (control)	Dieta 2 (muffin 60/40)	Dieta 3 (caseína)
1	102.76 %	101.21%	103.41%
2	103.10%	101.34%	104.00%
3	102.48%	101.75%	103.80%
4	101.14%	100.79%	105.03%
	102.37 ± 0.85	101.27 ± 0.39	104.06 ± 0.69

E. Análisis sensorial. En la presente investigación se hizo uso del análisis sensorial en dos etapas: la primera consistió en un grupo focal y la segunda en una prueba hedónica del producto final. Ambas pruebas permitieron determinar la aceptabilidad del consumidor hacia el muffin elaborado.

Al inicio del estudio era necesario determinar cuál de las formulaciones elaboradas obtendría una mejor respuesta por parte de los consumidores hacia las propiedades sensoriales del producto. Para ello se hizo uso de una prueba afectiva, grupo focal, en la cual participaron 8 panelistas previamente entrenados, de ambos sexos, con edades entre 20 a 24 años. Se realizó una única sesión con duración de una hora, en la cual se presentaron las 3 diferentes combinaciones de muffins. Durante la sesión se les dio a conocer a los panelistas el objetivo de la prueba, así como el listado de los ingredientes utilizados en el producto. Debido a que eran 3 muestras diferentes para evaluar, se procedió a iniciar con el menor nivel de sustitución (80/20), prosiguiendo con la combinación 60/40 y finalizando con la combinación 40/60, este orden no varió entre panelistas. El nivel de sustitución de las muestras no se dio a conocer a los panelistas para evitar respuestas manipuladas, solamente conocían que eran tres formulaciones distintas.

Los atributos evaluados para cada una de las muestras fueron: color, olor, sabor, dureza y textura, se utilizaron preguntas dinámicas y directas que dieron lugar a discutir abiertamente estas características. La responsabilidad del moderador consistió en facilitar la discusión, realizar las preguntas, aclarar dudas sobre los ingredientes o preparación y anotar las respuestas o comentarios de los panelistas. Era importante que el moderador evitara interpretar o cambiar las opiniones emitidas por los panelistas, ya que de otra manera los resultados no serían confiables. Los comentarios emitidos por los panelistas se presentan en el Cuadro No. 39.

Con respecto a la combinación 80/20 los panelistas opinaron que el color era agradable pero la apariencia era brillante dando sensación grasosa, el olor era muy fuerte y estaba relacionado a la vainilla, el sabor les resultó agradable, la dureza fue percibida en general como desagradable y la textura debía mejorar. De la combinación 60/40 el panel opinó que el color era bastante agradable a la vista, era apetitoso y resultaba menos brillante que el anterior; en cuanto al olor, se dijo que la vainilla seguía predominando y que sería necesario disminuir dicho ingrediente en la formulación, el sabor resultó agradable para todos los panelistas los cuales expresaron un balance en el dulzor del producto; la mitad del panel opinó que la dureza era agradable mientras que el resto

opinó lo contrario, dando como sugerencia lograr una consistencia más suave, por último en cuanto a la textura opinaron que debía mejorar. La última de las muestras evaluadas fue la combinación 40/60, de la cual los panelistas expresaron que el color era pálido y opaco, el olor era extraño pero no se relacionaba con el maíz, el sabor estaba relacionado con el maíz pero resultó agradable solamente a 3 de los panelistas, la dureza fue evaluada como poco agradable sin llegar a ser desagradable. En relación a la textura los panelistas llegaron a un consenso para las tres muestras opinando que la sensación que dejaba el producto luego de probarlo no era agradable, esto debido a que uno de los ingredientes de los muffins era maíz en grano licuado y lo que se percibió como desagradable fueron las cáscaras de los maíces. Por lo mismo, los panelistas sugirieron que dicho ingrediente fuera colado previo a su incorporación a la masa.

Al terminar de evaluar las tres muestras se preguntó a los panelistas cuales eran sus comentarios finales del producto, obteniéndose algunas sugerencias para la mejora del producto. Las sugerencias más destacables fueron: disminuir el olor a vainilla, aumentar el tamaño del muffin, dorar completamente la superficie del muffin para una vista agradable, eliminar las cáscaras de los granos de maíz y lograr una textura más suave.

Como dato adicional para poder seleccionar la combinación de muffin a ser objeto de estudio en el análisis biológico, se procedió a preguntarle a los panelistas cuál de las muestras presentadas escogerían como la más aceptable sensorialmente, para lo cual 5 de los panelistas escogieron la combinación 60 trigo/40 maíz opaco 2 y tres escogieron la combinación 40 trigo/60 maíz opaco 2. Estos resultados sustentan lo expresado anteriormente sobre el uso de maíz en panificación ya que contrariamente a lo esperado, la muestra con mayor cantidad de harina de trigo no fue seleccionada como la más aceptable por ninguno de los panelistas. Con base en los comentarios realizados por los panelistas y la elección preferencial se seleccionó la combinación 60 trigo/40 maíz opaco 2 para realizar el análisis biológico en ratas experimentales.

Cuadro No. 39 Comentarios realizados por el grupo focal acerca de las diferentes combinaciones de muffins

Atributo	Combinación	Comentarios
COLOR	80 trigo/ 20 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El color es bastante uniforme, agradable a la vista. ▪ Da la impresión de ser un pan recién horneado. ▪ Muy brillante, pareciera que tiene mucha grasa.
	60 trigo/ 40 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es menos brillante que el anterior (80/20). ▪ La mayoría opina que el color es agradable a la vista ▪ No está ni muy pálido, ni muy tostado. ▪ Se mira apetitoso.
	40 trigo/ 60 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es pálido y opaco. ▪ No es desagradable, pero podría mejorar.
OLOR	80 trigo/ 20 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El olor está más relacionado a la vainilla que al maíz. ▪ La mayoría opina que el olor a vainilla es demasiado fuerte. Solamente 3 panelistas opinan que el olor les agrada.
	60 trigo/ 40 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si es un muffin de maíz debería oler más a eso que a la vainilla. ▪ El olor de la vainilla predomina, pero es más tolerable que el anterior (80/20).
	40 trigo/ 60 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Huele menos a vainilla, pero tiene un olor extraño. ▪ El olor sigue sin relacionarse con el maíz. ▪ No se llega a un consenso de agradable o desagradable.

Atributo	Combinación	Comentarios
SABOR	80 trigo/ 20 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El sabor no se relaciona con el concepto del producto (maíz). ▪ De 8 panelistas, 1 opina que el sabor es muy dulce. ▪ Todos opinan que el sabor es agradable.
	60 trigo/ 40 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El sabor percibido está más relacionado con el maíz. ▪ Todos opinan que el sabor es agradable. ▪ El sabor está balanceado, no es ni dulce ni desabrido ▪ Podría comerme más de uno de éstos.
	40 trigo/ 60 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El sabor sí está relacionado con maíz. ▪ A 3 de los panelistas les agrada el sabor y al resto les parece menos agradable que el anterior.
DUREZA	80 trigo/ 20 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La mayoría opina que la dureza es desagradable porque se forma una pasta al morder. ▪ La dureza podría mejorar con mayor tiempo de horneado.
	60 trigo/ 40 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La mitad de los panelistas opina que la dureza es agradable y la otra que no lo es. ▪ Es suave. Está más compacto que el anterior (80/20)
	40 trigo/ 60 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es compacto y suave. 60 trigo/40 maíz opaco 2 ▪ La mayoría opina que es poco agradable sin llegar a ser desagradable.
TEXTURA	80 trigo/ 20 maíz opaco 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La mayoría de los panelistas opina que después de comer el muffin, éste deja residuos de cáscara de maíz que no son agradables. Da más sed. ▪ Deberían ser colados los granos de elote antes de agregarse a la mezcla. ▪ Solamente un panelista opina que la sensación luego de probar el producto es completamente agradable, el resto dice que si fuera resuelto el problema de los residuos, la textura sería agradable.
	60 trigo/ 40 maíz opaco 2	
	40 trigo/ 60 maíz opaco 2	

Otra de las finalidades del grupo focal era adquirir comentarios de los panelistas que permitieran realizar mejoras al producto en los aspectos sensorialmente evaluados, los cuales debían ser tratados antes de realizar la segunda etapa de prueba sensorial (escala hedónica). Los cambios sugeridos fueron mencionados anteriormente y se trabajaron únicamente para la formulación 60 trigo/40 maíz opaco 2. En lo que corresponde al olor se redujo la cantidad de vainilla agregada, para aumentar el tamaño del muffin se agregó una mayor cantidad de masa a cada recipiente, para lograr un color dorado y uniforme se aumento el tiempo de horneado de 35 minutos a 40 minutos, para evitar la sensación desagradable de las cáscaras de los granos de maíz se procedió a colarlos antes de agregarlos a la masa, por último la textura del muffin mejoró porque las claras de los huevos (punto de nieve) fueron incorporadas al final de la preparación.

Luego de realizar los cambios se procedió a evaluar nuevamente el producto, esta vez por medio de una prueba hedónica de siete puntos. Para dicha prueba se consideró inicialmente un grupo de 25 personas, sin embargo, la participación fue masiva teniendo un total de 49 panelistas, con edades entre 20 a 50 años, de ambos sexos. El muffin evaluado en esta prueba fue la combinación 60/40.

A pesar de que se contó con la presencia de 49 panelistas, al momento de tabular las boletas fue necesario descartar 11 de ellas ya que no siguieron las instrucciones y había más de una respuesta marcada. De las boletas tabuladas se obtuvieron los resultados del Cuadro No. 40. En ellos se puede observar que la mayoría de respuestas están distribuidas en las categorías me gusta muchísimo y me gusta mucho para las 4 características evaluadas.

Cuadro No. 40 Resultados de prueba hedónica por características evaluadas

Escala	Apariencia	Olor	Sabor	Aceptabilidad general
Me gusta muchísimo (7)	17	11	13	11
Me gusta mucho (6)	18	21	21	24
Me gusta poco (5)	3	5	4	2
No me gusta no me disgusta (4)	0	1	0	1
Me disgusta poco (3)	0	0	0	0
Me disgusta mucho (2)	0	0	0	0
Me disgusta muchísimo (1)	0	0	0	0
TOTAL	38	38	38	38

Para el análisis de los datos, la escala categorizada se convierte en puntaje numérico con lo cual se obtuvo un promedio de los resultados y con este dato se determinó el grado de aceptabilidad. Por lo general, se utiliza una escala categorizada de 9 puntos, pero como ya se mencionó anteriormente en el presente trabajo se utilizó una escala de 7 puntos.

En la escala de 9 puntos, el valor crítico mínimo para considerar una prueba como aceptable debe ser mayor o igual que 6.5, por lo que se realizó una conversión para poder obtener el valor crítico de la escala de 7 puntos, en la cual se obtuvo el valor crítico mínimo de 5.055. Luego de ello se procedió a sumar el número de panelistas con la misma respuesta para cada atributo evaluado, el resultado se multiplica por el puntaje numérico asignado a cada categoría y por último se suman todos los resultados. Luego el resultado se divide entre el número de panelistas obteniendo un valor que debe ser comparado con el valor crítico mínimo para cada característica evaluada. Los cálculos realizados se encuentran en el Apéndice G.

Los resultados obtenidos en el análisis de la prueba hedónica se muestran en el Cuadro No. 41, allí se puede observar que para las cuatro características evaluadas el valor es mayor que el valor crítico mínimo (5.055) por lo que el producto evaluado es aceptable en apariencia, olor, sabor y aceptabilidad general.

Cuadro No. 41 Prueba hedónica de siete puntos para el muffin 60% trigo-40% maíz opaco 2

	Valor	Interpretación
APARIENCIA	6.368	Aceptable – ME GUSTA MUCHO
OLOR	6.105	Aceptable – ME GUSTA MUCHO
SABOR	6.236	Aceptable – ME GUSTA MUCHO
ACEPTABILIDAD GENERAL	6.184	Aceptable – ME GUSTA MUCHO

VIII. CONCLUSIONES

Con base en los objetivos planteados al inicio de la investigación, considerando la información obtenida en una amplia bibliografía y los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta, se procede a concluir respecto al estudio Desarrollo de un producto de panificación tipo muffin nutricionalmente mejorado, por sustitución parcial con harina de maíz opaco 2:

- Es posible obtener un producto de panificación tipo muffin con características físicas y sensoriales aceptables, por medio de la sustitución parcial de harina de trigo con harina de maíz opaco 2 a un nivel del 40% de sustitución.
- Con un 95% de confianza se determinó que el ancho, peso y volumen de las cuatro combinaciones elaboradas son significativamente diferentes entre sí.
- El muffin 60% harina de trigo/40% harina de maíz opaco 2 fue la única de las combinaciones elaboradas en la cual no fueron detectadas diferencias significativas en peso, volumen, ancho y altura respecto con el muffin control (100% trigo).
- El contenido de proteína obtenido para la harina de trigo fue mayor que el obtenido para la harina de maíz opaco 2, sin embargo, la calidad de una proteína no depende únicamente de la cantidad reportada sino de la proporción de aminoácidos esenciales que contienen. Con respecto a ello, los estudios sustentan el hecho que el Maíz Opaco 2 tiene un mejor patrón de aminoácidos comparado al trigo lo que lo hace un alimento de mayor valor biológico.
- Por medio del análisis químico de las muestras, se determinó que conforme la sustitución de harina de trigo por harina de maíz opaco 2 aumentaba el nivel proteico disminuía. Empero, la sustitución le otorga al muffin un mayor contenido de lisina, aminoácido limitante en la harina de trigo más no en la harina de maíz opaco 2. Con ello se logra aumentar el valor biológico de un producto de consumo masivo como el pan dulce en Guatemala.
- La razón proteica neta del muffin control (100% trigo) y el muffin experimental (60/40) sobrepaso el valor obtenido por la caseína posiblemente debido a que el huevo era uno de los ingredientes del producto y éste posee aminoácidos azufrados, los cuales están presentes en menor cantidad en la caseína.
- La razón proteica neta (NPR) del muffin experimental (60/40) la cual fue de 3.82 sobrepasa lo obtenido por el muffin control la cual fue de 3.78, por lo que la sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz opaco 2 incremento el NPR sustentando el hecho que la calidad proteica del muffin experimental es mayor que la del control.

- Los valores de digestibilidad verdadera para las tres dietas evaluadas sobrepasaron el 100% por lo que tanto el muffin control, el muffin experimental y la caseína tienen una excelente retención del nitrógeno ingerido.
- La combinación 60% trigo y 40% maíz opaco 2 fue seleccionada por el grupo focal como la formulación con mejores atributos sensoriales, por lo que fue el objeto de estudio en las pruebas biológicas.
- Según los resultados obtenidos en la prueba hedónica de siete puntos donde se evaluó el muffin 60% trigo y 40% maíz opaco 2, el producto final es significativamente aceptable por el consumidor en cuanto a apariencia, olor, sabor y aceptabilidad general.
- En un país como Guatemala en el cual el consumo de maíz sobrepasa el 50% de la población, este cereal no se considera únicamente como fuente de energía, sino que además como suministro de proteína, por lo que se hace necesario utilizar variedades de maíz con calidad proteínica tal como el maíz opaco 2.

IX. RECOMENDACIONES

- Es necesario fomentar la utilización de cereales de producción nacional como el maíz, enfocándose al uso de variedades que permitan obtener aun mejor valor energético y calidad proteica como el maíz opaco 2.
- Debido a la alta tasa de desnutrición proteínico calórica existente en Guatemala es indispensable el desarrollo de productos alimenticios que constituyan un vehículo tanto de macronutrientes como de micronutrientes, tomando en consideración que el producto sea de consumo masivo y culturalmente aceptable.
- Promover el uso del maíz opaco 2 en productos alimenticios producidos a el nivel industrial con lo cual se logre preservar la calidad proteica con la que cuenta esta variedad.
- Capacitar a panaderos artesanales sobre la elaboración de panes de alto valor nutritivo como lo es el muffin sustituido parcialmente con harina de maíz opaco 2 con lo cual se pondría a disposición de la población un alimento económico y nutritivo.
- Determinar el valor energético del producto mediante el método de calorimetría.
- Realizar la determinación del porcentaje de proteína de las dietas antes de iniciar el estudio biológico lo cual permitiría que las dietas tuvieran una composición proteínica semejante.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, Jorge; F. Adrino. 1991. «Diferencias urbano-rurales en la ingesta de alimentos de familias pobres de Guatemala». *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Volumen XLI, No. 3:327-335.
- Badui, Salvador. 1997. *Química de los Alimentos*. 3ª edición. México, Alambra. 648 págs.
- Bennich, Edmund. 1967. *Fabricación del Pan*. 4ta edición. España, Acribia. 404 págs.
- Bender, A. Millar, D. 1953. «A new Brief Method of estimating Net Protein Value». *Journal of Biochemistry*. 53.
- Benton, D.A., Harper, A.E. y Elvehjem, C.A. 1955. «Effect of isoleucine supplementation on the growth of rats fed zein or corn diets». *Arch. Biochem. Biophys.*, 57: 13-19.
- Benton, D.A., Harper, A.E., Spivey, H.E. y Elvehjem, C.A. 1956. «Leucine, isoleucine and valine relationships in the rat». *Arth. Biochem. Biophys.*, 60: 147-155.
- Boyer, C.D. y Shannon, J.C. 1987. «Carbohydrates of the kernel». *Corn: chemistry and technology. Am. Assoc. Cereal Chem.* 253-272.
- Bressani, R. y Mertz, E.T. 1958. «Studies on corn protein. IV. Protein and amino acid content of different corn varieties». *Cereal Chem.*, 35: 227-235.
- Bressani, Ricardo. 1958. «Protein quality of Opaque 2 maize in children». *Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá*. 34-40.
- Bressani, Ricardo *et al.* 1965. «Relationship between net protein utilization (NPU) and nitrogen efficiency ratio (NER) ». *Nutritio et Dieta*. Vol. 7, No. 3:11.
- Bressani, Ricardo. 1968. «La calidad proteica del maíz con gen Opaco 2». *Turrialba*. Vol. 18, No. 1. 8-13.
- Bressani, Ricardo; L. Elias y A. Gomez-Brenes. 1969. «Protein quality of Opaque 2 corn evaluation in rats». *The Journal of Nutrition*. Vol. 97, No. 2:173-179.
- Bressani, Ricardo; L. Elias. 1969. «Studies on the use of Opaque 2 corn in vegetable protein rich foods». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 17, No. 3. 659-662.
- Bressani, Ricardo, *et al.* 1970. «The potencial nutricional contribution of Opaque 2 corn». *Nutrition Reports Internacional*.
- Bressani, Ricardo, *et al.* 1972. «The endogenous urinary and fecal nitrogen excretion of children and the nutritive value of various animal and vegetable proteins for human nutrition».

- Bressani, Ricardo; L. Elias. 1972. «La calidad proteínica del maíz opaco 2 como ingrediente de dietas rurales de Guatemala». *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. XXII, No. 4. 577-594.
- Bressani, Ricardo. 1972. «Evaluación nutricional del maíz opaco 2 en niños y adultos». *Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá*. 21-39.
- Bressani, R., Breuner, M. y Ortiz, M.A. 1989. «Contenido de fibra ácido y neutrodetergente y de minerales menores en maíz y su tortilla». *Arch. Latinoam. Nutr.*, 39: 382-391.
- Bressani, Ricardo. 1990. «Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas». *Food Rev. Int.* 6: 225-264.
- Bressani, Ricardo. 1991. «Protein quality of high lysine maize for humans». *American Association of Cereal Chemists*. Vol. 36, No. 9:806-810.
- Burge, R.M. y Duensing, W.J. 1989. «Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran». *Cereal Foods World* 34: 535-538.
- Carrillo, María Fernanda. 2003. *Fortificación con hierro de una galleta nutritiva, evaluación de su valor nutricional y aceptabilidad en mujeres embarazadas*. Universidad del Valle de Guatemala. 70 págs.
- Castellanos, Lucía. 2003. *Formación de un panel sensorial entrenado*. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, INCAP/OPS: Gerencia de Producción y Tecnología Alimentaria.
- Clark, H.E., Allen, P.E., Meyers, S.M., Tuckett, S.E. y Yamamura, Y. 1967. «Nitrogen balances of adults consuming opaque-2 maize protein». *Am. J. Clin. Nutr.*, 20: 825-833.
- Clark, H.E., Glover, D.V., Betz, J.L. y Bailey, L.B. 1977. «Nitrogen retention of young men who consumed isoitrogenous diets containing normal, opaque-2 or sugary-2 opaque-2 corn». *Nutr.*, 107: 404-411.
- Charley, Helen. 1987. *Tecnología de Alimentos*. México, Limusa. 767 págs.
- Christianson, D.D., Wall, J.S., Dimler, R.J. y Booth, A.N. 1968. «Nutritionally available niacin in corn. Isolation and biological activity». *J. Agric. Food Chem.*, 16: 100-104.
- Encuesta Dietética de Centro América y Panamá*. 1969. Organización Panamericana de la Salud, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. 50 págs.
- Fisher, R. 1970. *Análisis Químico Cuantitativo*. 3ª edición. México, Interamericana. 788 págs.
- Fisher, P., A. Bender. 1972. *Valor Nutritivo de los Alimentos*. México, Limusa. 205 págs.
- Gopalan, C. y Rao, K.S.J. 1975. «Pellagra and amino acid imbalance». *Vitam. Horm.*, 33: 505-528.
- Graham, G.G., Glover, D.V., De Romana, G.L., Morales, E. y MacLean, W.C. 1980. «Nutritional value of normal, opaque-2 and sugary-2 opaque-2 maize hybrids for infants and children. Digestibility and

- utilization». *Journal of Nutrition*: 110: 1061 -1069.
- Graham, G.G., Lembcke, J., Lancho, E. y Morales, E. 1989. «Quality protein maize: digestibility and utilization by recovering malnourished infants». *Pediatrics* 83: 416-421.
- Graham, G.G., Placko, R.P. y MacLean, W.C.1980. «Nutritional value of normal, opaque-2 and sugary-2 opaque-2 maize hybrids for infants and children 11. Plasmafree amino acids». *Nutrition*, 110: 1070-1075.
- Guía para grupos focales. [Consulta: octubre 2005] <http://www.educarchile.cl/medios/20040514092038.pdf>. 2001
- Harper, L. 1990. *Bioquímica*. 2ª edición. México, Hispanoamericana. 872 págs.
- Hogan, A.G., Gillespie, G.T., Kocturk, O., O'Dell, B.L. y Flynn, L.M.1955. «The percentage of protein in corn and its nutritional properties». *J. Nutr.*,57: 225-239.
- Howe, E.E., Janson, G.R. y Gilfillan, E.W. 1965. «Amino acid supplementation of cereal grains as related to the world food supply». *Am. J. Clin. Nutr.* 16: 315-320.
- Kies, C., Williams, E. y Fox, H.M. 1965. «Determination of first limiting nitrogenous factor in corn protein for nitrogen retention in human adults». *J. Nutr.* 86: 350-356.
- Kira, R., D. Othmer. 1962. *Enciclopedia de tecnología química, tomo XI*. México, Hispanoamericana. 995 págs.
- Landry, J. y Moureaux, T. 1982. «Distribution and amino acid composition of protein fractions in opaque-2 maize grain». *Phytochemistry*. 21:1365- 1869.
- Lehninger, A. *et al.* 1993. *Principles of Biochemistry*. 2a edition. United States of America, Worth Publishers. 1013 págs.
- Los alimentos nutricionalmente mejorados: una alternativa para los programas de alimentación complementaria*. 2001. Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. Guatemala. PP/NT/028:2.
- Luna Jaspe, G.H., Parra, J.O.M. y Serrano, S.P. 1971. «Comparación de la retención de nitrógeno en niños alimentados con maíz común, maíz de gen opaco-2 y leche de vaca. I. Resultados con baja ingesta de proteína». *Arch. Latinoamericano. Nutrición* 21: 437-447.
- M. Meilgaard *et al.* *Sensory evaluation techniques*. 3rd edition. Unites States of America, CRC Press.
- Manual de Panadería*. 2001. Instituto técnico de capacitación. Guatemala. 50 págs.
- Matz, Samuel. 1992. *Bakery technology and engineering*. United States of America, Avi Book. 853 págs.
- Menchú, Teresa. 2002. «Breve análisis de la situación alimentaria en Centroamérica». *Notas técnicas*,

- Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. PP/NT/018:1-5.*
- Mertz, E. T.; L. S. Bates y O. E. Nelson. 1964. «Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm». *Science*. 145-279.
- Mitchell, H.H. y Smuts, D.B. 1932. «The amino acid deficiencies of beef, wheat, corn, oats and soybeans for growth in the white rat». *J. Biol. Chem.*, 95: 263-281.
- Moncada, Eva. 1998. *Desarrollo de una empanada para el paciente diabético*. Universidad del Valle de Guatemala. 76 págs.
- Morales, Rafael. 1994. *Desarrollo de un pan dulce portador de calorías, proteínas, vitamina A, hierro y otros micronutrientes*. Tesis de la Universidad del Valle de Guatemala. 65 págs.
- Official Methods of Analysis*. 1984. Association of Official Analytical Chemists. 4 edition. United States of America. 1141 págs.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. *El maíz en la nutrición humana*. 1993. <http://www.fao.org/docrep/T0395S/T0395S00.HTM#Contents>.
- Orr, M.L. y Walt, B.K. 1957. *Amino acid content of foods*. Home Economics Research Report No. 4. Washington, D.C., Dept. Agric. de los Estados Unidos. 88 pp.
- P. H. Derse. 1962. «Evaluation of Protein Quality (Biological Method)». *Journal Association Official of Agriculture and Chemists*, 418-422.
- Patterson, J.I., Brown, R.R., Linkswiler, H. y Harper, A.E. 1980, «Excretion of tryptophan- niacin metabolites by young men: effects of tryptophan, leucina and vitamin B6 intakes». *Am .J. Clin. Nutr*: 33: 2157-2167.
- Pellet, Peter; V. Young. 1980. *Nutritional evaluation of protein foods*. United States of America, The United Nations University. 175 págs.
- Pereda, Clara; M. Lau. 2001. *Metodología para la selección y entrenamiento de paneles sensoriales aplicables a la industria alimentaria*. Guatemala, INCAP. 39 págs.
- Pradilla, A., Linares, F., Francis, C.A. y Fajardo, L.1973. *El maíz de alta lisina en la nutrición humana. Simposio sobre desarrollo y utilización de maíces de alto valor nutritivo, junio 29-30, 1972*. Colegio de Postgraduados, ENA. Chapingo, México, SAG.
- Prera, Carlos. 2001. *Elaboración de productos de panadería y repostería.*, Modulo I, Intecap. Guatemala. 121 págs.
- Pyler, Erick. 1988. *Baking science and technology*. United States of America, Miller. Volume II, 1346 págs.
- Quaglia, German. 1991. *Ciencia y Tecnología de la Panificación*. 2da edición. España, Acribia. 485 págs.

- Quality protein maize: 1964-1994*. 1994. International Symposium on Quality Protein Maize. Brazil. 291 págs.
- Reyes, María José. 2002. *Desarrollo de un producto de panificación apto para el adulto mayor*. Universidad del Valle de Guatemala. 70 págs.
- Seguridad alimentaria nutricional en Guatemala*. 1991. Organización Panamericana de la Salud, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. 70 págs.
- Situación de la seguridad alimentaria y nutricional de Guatemala*. 2003. Organización Panamericana de la Salud, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. 143 págs.
- Skoog, D.; D. West; F. Holler. 2001. *Química Analítica*. 7ma edición. México, McGraw-Hill. 795 págs.
- Tartanac, Florence. 2000. «Los alimentos nutricionalmente mejorados: un tema siempre de actualidad en la investigación sobre tecnología de alimentos». *Publicaciones Científicas del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá*. Guatemala. PP/NT 012:2.
- Truswell, A.S. y Brock, J.F. 1961. «Effect of amino acid supplements on the nutritive value of maize protein for human adults». *Am. J. Clin Nutr.* 9: 715-728.
- Truswell, A.S. y Brock, J.F. 1962. «The nutritive value of maize protein for man». *Am. J. Clin. Nutr.*; 10: 142.
- Watson, S. A. 1987. «Structure and composition». En S.A. Watson y P.E. Ramstad, eds. *Corn: chemistry and technology*, p. 53-82. St Paul, EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
- Watson, S.A. 1962. *The yellow carotenoid pigments of corn*. En W. Hechendorff y J.J. Sutherland, eds. Proc. Corn. Res. Conf. 17th. Washington, D.C., Am. Seed Trade Assoc.
- Weber, E.J. 1987. «Lipids of the kernel». En S.A. Watson y P.E. Ramstad, eds. *Corn. Chemistry and technology*, p. 311 -349. St Paul, EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
- Witting, Emma. 1999. *Evaluación sensorial: un método actual para tecnología de alimentos*. México. 134 págs.
- Young, V.R., Ozalp, I., Chokos, B.V. y Scrimshaw, N.S. 1971. «Protein value of Colombian opaque-2 corn for young adult men». *J. Nutr.*, 101: 1475- 1481.

XI. APÉNDICES

A. Listado de ingredientes

1. *Nombre de la receta:* muffin de maíz
2. *Tamaño de la porción:* 1 muffin
3. *Número de unidades que rinde la receta:* 30 unidades

Ingrediente	Cantidad	Unidad de peso	Composición porcentual	Costo por unidad de compra		Costo total
				Costo	Unidad	
Harina de trigo dura	16	onzas	24.16%	Q 1.60	Libra	Q 1.60
Margarina	10	onzas	15.10%	Q 4.33	Libra	Q 2.70
Azúcar	14	onzas	21.14%	Q 1.90	Libra	Q 1.66
Huevos	6	Unidades	15.96%	Q 0.51	Unidad	Q 3.08
Polvo de hornear	2	Cucharaditas	0.53%	Q 4.00	Libra	Q 0.09
Maíz enlatado en grano	432	Gramos	22.98%	Q 7.25	Lata	Q 7.25
Vainilla blanca	½	Cucharadita	0.14%	Q 70.00	Botella	Q 0.001
Costo total						Q 16.38
Costo por porción						Q 0.55

B. Equipo utilizado en la preparación

Nombre de la receta: muffin de maíz _____

Equipo	Marca	Capacidad
<i>Equipo Mayor</i>		
Batidora	Hobar	
Licuadaora	Hamilton Beach	
Balanza	Chatillon Model T20	20 libras \pm 0.05
Horno	Vulcan	200-500°F (100-250°C)
<i>Equipo Menor</i>		
Tazón de batidora	Kitchen Aid	10 libras
Espátula plástica	EKCO	
Moldes para hornear	Wear Even No.5325	12 unidades
Cucharas medidoras	EKCO	1 cda, ½ cda, 1 dta, ½ cdta, ¼ cdta, 1/3 dta
Moldes de papel No. 2	Frutalia	1 unidad

FUENTE: Café Vienés, hotel Camino Real, 2005

B. Receta estandarizada del producto control y combinación 40% harina de maíz opaco 2 y 60% de harina de trigo

<p>1. <i>Nombre de la receta:</i> <u>muffin de maíz (100% trigo)</u></p> <p>2. <i>Tamaño de la porción:</i> <u>1 muffin</u></p> <p>3. <i>Número de unidades que rinde la receta:</i> <u>30 unidades</u></p>			
Ingrediente	Cantidad	Unidad de peso	Procedimiento
Azúcar	14 (397)	onzas (gramos)	Creumar la margarina con el azúcar durante 10 minutos en la batidora a una velocidad media (2ª. velocidad)
Margarina	10 (284)	onzas (gramos)	
Huevos	6	unidades	Separar los huevos y apartar las claras en un recipiente. Agregar las yemas una por una a la mezcla. Aumentar la velocidad de la batidora (3ª. velocidad) y continuar batiendo hasta incorporar bien.
Maíz en grano	432 (1)	gramos (lata)	Abrir la lata de maíz y licuar por 2 minutos a velocidad media, hasta obtener una mezcla ligera. Pasar por un colador y luego agregar a la mezcla.
Polvo de hornear	2	cucharaditas	Mezclar bien el polvo de hornear y la harina. Incorporar a la mezcla poco a poco hasta que se haga homogénea.
Harina de trigo	16 (453)	onzas (gramos)	
Claros de huevo	6	unidades	Batir las claras a punto de nieve y agregar la vainilla, incorporarlas a la masa con movimientos envolventes. Calentar el horno a 350°C. Colocar los moldes de papel dentro de los moldes para hornear. Dejar caer la misma cantidad de mezcla en cada molde. Hornear durante 40 minutos.
Vainilla blanca	¼	cucharadita	
<i>Temperatura de cocción:</i> 350°C			
<i>Tiempo de cocción:</i> 40 minutos			

1. **Nombre de la receta:** muffin de maíz (40% harina de maíz opaco 2 y 60% harina de trigo)
2. **Tamaño de la porción:** 1 muffin
3. **Número de unidades que rinde la receta:** 30 unidades

Ingrediente	Cantidad	Unidad de peso	Procedimiento
Azúcar	14 (397)	onzas (gramos)	Cremar la margarina con el azúcar durante 10 minutos en la batidora a una velocidad media (2ª. velocidad)
Margarina	10 (284)	onzas (gramos)	
Huevos	6	unidades	Separar los huevos y apartar las claras en un recipiente. Agregar las yemas una por una a la mezcla. Aumentar la velocidad de la batidora (3ª. velocidad) y continuar batiendo hasta incorporar bien.
Maíz en grano	432 (1)	gramos (lata)	Abrir la lata de maíz y licuar por 2 minutos a velocidad media, hasta obtener una mezcla ligera. Pasar por un colador y luego agregar a la mezcla.
Polvo de hornear	2	cucharaditas	Mezclar bien el polvo de hornear y las harinas. Incorporar a la mezcla poco a poco hasta que se haga homogénea.
Harina de trigo	9.6 (272)	onzas (gramos)	
Harina de maíz opaco 2	6.4 (181)	onzas (gramos)	
Claros de huevo	6	unidades	Batir las claras a punto de nieve y agregar la vainilla, incorporarlas a la masa con movimientos envolventes. Calentar el horno a 350°C. Colocar los moldes de papel dentro de los moldes para hornear. Dejar caer la misma cantidad de mezcla en cada molde. Hornear durante 40 minutos.
Vainilla blanca	¼	cucharadita	
Temperatura de cocción: 350°C			
Tiempo de cocción: 40 minutos			

D. Guía de discusión de grupo focal

ESTUDIO DE ACEPTABILIDAD DE CONSUMIDORES HACIA UN MUFFIN PARCIALMENTE SUSTITUIDO CON HARINA DE MAÍZ OPACO 2

1. Introducción: buenas tardes, gracias por su presencia y colaboración. En esta ocasión necesitamos conocer cuál es el grado de aceptación hacia las diferentes combinaciones del muffin que se les presenta. Se tomarán en cuenta cualquier sugerencia. Se deberá indicar la composición de ingredientes del producto.

Fecha: _____		
Lugar: _____		
No. de asistentes: _____		
Moderador: _____		
Redactor: _____		
Hora de inicio: _____ Hora de finalización: _____		
No. de Participantes	Edad	Sexo

2. Discusión: por cada una de las combinaciones de muffin presentadas se realizará la siguiente serie de preguntas, en el mismo orden:
- a. **COLOR:** Todos los panelistas deben observar detenidamente el producto con la finalidad de expresar su aceptabilidad por la apariencia y presentación del producto.
 - i. ¿Qué piensan acerca de la apariencia y presentación del muffin?
 - ii. ¿Qué piensan acerca del color?
 - iii. ¿Les agrada o desagrada?
 - b. **OLOR:** para detectar el olor se debe indicar al panel que olfatee el muffin y que relacionen el olor con los ingredientes del producto.
 - i. ¿Se relaciona el olor percibido con los ingredientes que lleva el producto?
 - ii. ¿Les agrada o desagrada?

- c. **SABOR:** para detectar el sabor se debe indicar al panel que prueben el producto.
 - i. ¿El sabor percibido se relaciona con los ingredientes que lleva el producto?
 - ii. ¿Les parece agradable o desagradable?
 - d. **DUREZA:** se pide a los panelistas que muerdan el producto con los dientes molares y que detecten el grado de dureza del producto.
 - i. ¿La dureza del producto les parece agradable o desagradable?
 - e. **TEXTURA:** se pide al panel que señale la sensación que percibe en la boca después de probar el muffin.
 - i. ¿La textura del producto les parece agradable o desagradable?
3. Cierre: se pregunta a los panelistas si tienen algo más que agregar, luego se les agradece su participación.

E. Boleta para prueba hedónica

No. panelista: _____

ESTUDIO DE ACEPTABILIDAD DE CONSUMIDORES HACIA UN MUFFIN PARCIALMENTE SUSTITUIDO CON HARINA DE MAÍZ OPACO 2

Edad: _____

Sexo: _____

INSTRUCCIONES: a continuación se le presenta una muestra de muffin. Pruebe la muestra y luego marque con una cruz (X) la casilla que corresponda a su opinión acerca de cada una de las características del producto. Por favor, marque solamente una opción para cada característica y no deje respuestas en blanco:

ESCALA		APARIENCIA	OLOR	SABOR	ACEPTABILIDAD GENERAL
Me gusta muchísimo	7				
Me gusta mucho	6				
Me gusta poco	5				
No me gusta no me disgusta	4				
Me disgusta poco	3				
Me disgusta mucho	2				
Me disgusta muchísimo	1				

¡MUCHAS GRACIAS!

F. Métodos oficiales de la AOAC para análisis proximal del producto

1. Método oficial de la AOAC para determinación del porcentaje de humedad (No. 14.004, Horno de Aire).

i. Equipo:

- Crisoles
- Horno de aire
- Desecadora
- Balanza analítica

ii. Procedimiento:

- Lavar y secar los crisoles en horno o mechero por 30 minutos a 100°C, enfriar en desecadora y tararlos cuando lleguen a temperatura ambiente.
- Pesar 1 gramo de muestra en el crisol previamente tarado.
- Secar el crisol con la muestra en horno a 130°C un mínimo de 2 horas o hasta llegar a masa constante.
- Remover del horno y colocar en desecadora hasta que alcance temperatura ambiente.
- Pesar crisoles en balanza y calcular el porcentaje de humedad. Reporte el residuo de harina como sólidos totales y la pérdida de peso como humedad

$$\%H = (\text{pérdida de peso} / \text{peso de muestra}) * 100$$
$$\% \text{ sólidos} = 100 - \%H$$

2. Método oficial de la AOAC para determinación del porcentaje de cenizas (No. 14.006, Método Directo)

i. Equipo:

- Balanza Analítica
- Horno de alta temperatura (0-600°C)
- Platos Metálicos
- Desecador

ii. Procedimiento:

- Se pesan 3-5 gramos de la muestra bien mezclada en un plato, el cual ha sido calentado y enfriado en desecador, y pesado al alcanzar la temperatura ambiente.
- Se calienta el horno a 550°C (rojo vivo) hasta que se observa una ceniza gris clara.
- Se deja enfriar en el desecador y se pesa cuando la muestra alcanza la temperatura ambiente.

3. Método oficial de la AOAC para determinación del porcentaje de grasa (No. 14.018, Extracto Etéreo)

i. Equipo:

- Beaker de 200 ml
- Embudo con vacío
- Papel filtro

ii. Reactivos:

- Éter Anhídrido: Se lava el éter con 2-3 porciones de agua, se agrega NaOH o KOH sólido y se deja hasta que la mayoría de agua haya sido extraída del éter. Se decanta a un frasco seco. Se agregan pequeñas piezas de Na metálico y se deja hasta que finalice la ebullición. Se deja éter sobre Na metálico en el frasco con el corcho sobrepuesto.

iii. Procedimiento:

- Armar el extractor Soxhlet con condensador de reflujo y frasco de destilación que ha sido previamente tarado y secado.
- Pesar 2-3 gramos de la muestra y colocarla en el tubo de extracción. Agregar éter hasta la marca en el frasco de extracción.
- Verificar que todo esté apretado y colocar en el calentador eléctrico ajustando el calor para que el solvente ebulle suavemente. El periodo de extracción es de 4-16 horas.
- Secar el extracto por 30 minutos a 100°C, enfriar y pesar.

4. Método oficial de la AOAC para determinación del porcentaje de proteína (No. 14.026, Kjeldahl)

i. Equipo:

- Para Digestión: usar frascos Kjeldahl de vidrio moderadamente grueso con capacidad de 500-800 ml. Conducir digestión sobre aparato calentador ajustado para llevar 250 ml de H₂O a 25°C a ebullición en 5 minutos. Para probar calentadores, precalentar 10 minutos si es de gas o 30 minutos si es eléctrico. Agregar 3-4 perlas de ebullición para evitar sobrecalentamiento.
- Para Destilación: usar frascos Kjeldahl de 500-800 ml ajustado con tapón de hule a través del cual pasa el extremo inferior de un bulbo depurador o trampa para prevenir el acarreamiento de NaOH durante la destilación. Conectar parte superior del tubo del bulbo al tubo del condensador por entubamiento con hule. Atrapar salida del condensador de manera que se asegure la completa absorción del NH₃ (amoníaco) destilado al recipiente ácido.

ii. Reactivos:

- Ácido Sulfúrico H_2SO_4 93-98%, libre de nitrógeno
- Oxido de Mercurio o Mercurio Metálico, HgO o Hg grado reactivo, libre de nitrógeno
- Sulfato de Potasio (o Sulfato de Sodio Anhidro) grado reactivo, libre de nitrógeno
- Ácido Salicílico grado reactivo, libre de nitrógeno
- Sulfito o Solución de Tiosulfato. Disolver 40 gramos con K_2S en 1 L de H_2O (solución de 40 g Na_2S u 80 g $Na_2S_2O_3 \cdot 5 H_2O$ en 1 L puede ser utilizada)
- Hidróxido de Sodio. Pelotitas o solución, libre de nitrato. Para solución, disolver 450 g de $NaOH$ sólido en agua, enfriar y diluir a 1 L.
- Gránulos de Zinc, grado reactivo
- Polvo de Zinc, polvo impalpable
- Indicador metil rojo. Disolver 1 gramo metil rojo en 200 ml de alcohol
- Solución de Ácido Hidroclórico o Sulfúrico 0.5N ó 1.0N cuando la cantidad de Nitrógeno es pequeña
- Solución estándar de Hidróxido de Sodio 0.1N

iii. Procedimiento:

- Se coloca muestra pesada (0.7-2.2 g) en frasco de digestión.
- Se agrega 0.7 gramos HgO ó 65 gramos Hg metálico, 15 gramos K_2SO_4 o anhídrido de Na_2SO_4 y 25 ml de H_2SO_4 . Si la muestra es mayor de 2.2 gramos, incrementar 10 ml de H_2SO_4 por cada gramo de muestra.
- Se coloca frasco en posición inclinada y se calienta hasta que cese la espuma, ebullición hasta que la solución se aclara.
- Se deja enfriar a una temperatura menor a $25^\circ C$ y se agrega aproximadamente 200 ml de agua, se añade también 25 ml de solución de sulfito o tiosulfito y se mezcla para precipitar el Hg . Se agregan gránulos de Zinc para evitar una ebullición violenta, se agita el frasco y se agrega una capa de $NaOH$ sin agitar (por cada 10 ml de H_2SO_4 utilizado se agrega 15 g de $NaOH$ sólido o suficiente solución para convertir los componentes fuertemente alcalinos).
- Se conecta el frasco al bulbo de digestión en el condensador y con la punta del condensador inmersa en solución ácida estándar, se agregan 5-7 gotas del indicador en el frasco colector. Se rota el frasco para mezclar componentes.
- Se calienta hasta que todo el NH_3 se haya destilado (aproximadamente 150 ml de destilado).
- Se remueve el frasco colector, se lava la punta del condensador y se titula el exceso de solución ácida estándar en el destilado con solución estándar de $NaOH$.
- Se corrige por determinación en blanco de reactivos.

$\%N = [(ml \text{ solución estándar ácida} * \text{normalidad del ácido}) - (ml \text{ solución estándar NaOH} * \text{normalidad de NaOH})] * (1.4007 / \text{gramos de la muestra})$

$$\text{Proteína} = N * 6.25$$

5. Método oficial de la AOAC para determinación del porcentaje de fibra dietética (No. 45.4.07)

i. Equipo:

- Para digestión: colocar en el condensador un beaker de 600 ml, un plato térmico ajustable a una temperatura que lleve 200 ml de H₂O a 25°C por 15 minutos.
- Plato de Cenizas: silica, vitreosil 70*15 mm, o de porcelana No. 450 tamaño 1.
- Desecador
- Filtro de Succión

ii. Reactivos:

- Solución de Ácido Sulfúrico: $0.255 \pm 0.005N$, 125 g H₂SO₄/100 ml
- Solución de Hidróxido de Sodio: $0.313 \pm 0.005N$, 1.25 g NaOH/100 ml
- Preparación de la fibra cerámica: coloque 60 g de fibra cerámica en la batidora, agregar 800 ml. de agua y batir por un minuto a baja velocidad. La determinación en blanco se hace con 2 gramos de fibra cerámica con ácido y álcali. Corregir los resultados de la fibra cruda para cualquier blanco que sea despreciable (aproximadamente 2 mg.)
- Alcohol al 95%, isopropanol
- Perlas de ebullición

iii. Procedimiento:

- Se tritura la muestra hasta obtener un polvo fino uniforme.
- **Determinación:** se extrae 2 gramos de la muestra con éter o éter de petróleo. Se transfiere a un beaker de 600 ml. Se agrega aproximadamente 1.5-2.0 gramos de fibra cerámica seca, 200 ml. de H₂SO₄ 1.25% ebulliendo y 1 gota de antiespumante. Se colocan perlas de ebullición. Se coloca el beaker en frasco de digestión y se calienta con una manta térmica por 30 minutos (se rota el beaker periódicamente para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes). Se remueve el beaker y se filtra con un California Buchner.
- **California Buchner:** se lava el beaker con 50-75 ml. de agua caliente y se lava a través del buchner. Se repite con 3 porciones de 50 ml. de agua y se deja secar. Se agregan 200 ml de NaOH al 1.25% caliente y se deja ebullición por 30 minutos. Se filtra y luego se lava con porciones

de 25 ml. H₂SO₄ al 1.25% caliente, 3 porciones de 50 ml. de agua y 25 ml. de alcohol.

- **Tratamiento del Residuo:** se coloca el residuo a 130°C por 2 horas. Se deja enfriar en el desecador y se pesa. Se coloca en la mufla a 600°C por 30 minutos. Se deja enfriar y se vuelve a pesar.

$$\% \text{ fibra cruda} = [(\text{peso crisol muestra seca} - \text{peso crisol muestra calcinada}) / \text{peso inicial}] * 100$$

6. Método para la determinación del porcentaje de carbohidratos totales (Método de Diferencia)

$$\% \text{ carbohidratos} = 100 - \text{porcentaje de proteína} - \text{porcentaje de g}$$

G. Datos intermedios

a. Datos intermedios del análisis físico

Cuadro No. 42 Ancho de las muestras de muffins

No.	40/60	60/40	80/20	Control (100/0)
1	7.0	6.6	6.8	6.7
2	6.8	6.7	7.1	6.9
3	6.8	6.6	6.7	7.0
4	7.2	6.9	6.7	6.4
5	6.9	6.8	6.6	6.6
6	6.7	6.0	6.7	6.8
7	6.7	6.4	6.8	6.8
8	6.8	6.5	6.6	7.0
9	6.7	6.7	7.2	7.0
10	6.7	6.6	7.1	6.7
	6.83 ± 0.02	6.58 ± 0.06	6.83 ± 0.04	6.79 ± 0.03

Cuadro No. 43 Altura de las muestras de muffins

No.	40/60	60/40	80/20	Control (100/0)
1	3.2	2.7	2.8	3.0
2	2.8	3.2	2.9	3.0
3	3.1	3.2	2.5	3.0
4	3.1	3.0	2.7	2.9
5	3.1	2.9	3.0	2.8
6	3.0	2.7	3.0	2.7
7	3.1	3.2	3.1	3.0
8	3.1	2.5	2.9	2.8
9	3.3	2.9	2.9	2.7
10	3.0	2.7	3.0	2.9
	3.08 ± 0.01	2.9 ± 0.06	2.88 ± 0.03	2.88 ± 0.01

Cuadro No. 44 Peso de las muestras de muffins

No.	40/60	60/40	80/20	Control (100/0)
1	52.17	47.46	50.45	52.01
2	56.67	49.54	49.29	54.79
3	47.88	53.90	45.72	58.31
4	60.99	43.11	48.19	48.44
5	49.25	51.44	48.50	56.31
6	45.92	55.27	48.84	55.77
7	45.93	51.27	47.92	54.41
8	48.59	49.95	46.32	53.17
9	49.47	49.37	49.68	56.16
10	43.03	51.59	53.18	51.78
	49.98 ± 28.78	50.28 ± 11.42	48.80 ± 4.42	54.11 ± 8.09

Cuadro No. 45 Volumen de las muestras de muffins

No.	40/60	60/40	80/20	Control (100/0)
1	123.15	92.37	101.69	105.77
2	101.69	112.82	114.82	112.18
3	112.58	109.48	88.14	115.45
4	126.22	112.18	95.19	93.29
5	115.92	105.32	102.64	95.79
6	105.77	76.34	105.77	98.06
7	109.30	102.94	112.58	108.95
8	112.58	82.96	99.21	107.76
9	116.35	102.24	118.07	103.91
10	105.77	92.37	118.78	102.24
	112.93	98.90	105.69	104.34

b. Datos intermedios del análisis biológico

Cuadro No. 46 Registro del crecimiento de ratas experimentales durante 14 días (peso en gramos)

Rata	Inicio				7 días				14 días			
	D1	D2	D3	DLN	D1	D2	D3	DLN	D1	D2	D3	DLN
1	44	44	46	46	55	58	82	42	70	71	120	40
2	48	48	48	46	60	65	90	41	77	77	120	38
3	50	50	50	50	69	68	82	50	83	80	112	46
4	50	50	50	50	66	67	77	50	82	83	112	40
5	50	50	52	52	61	59	90	46	73	74	121	46
6	54	54	54	52	66	65	101	50	82	87	121	48
7	54	54	54	54	68	69	95	48	79	87	126	45
8	58	56	56	56	65	67	92	49	79	82	113	44

D1=dieta control, D2=dieta experimental, D3=dieta caseína, DLN=dieta libre de Nitrógeno

Cuadro No. 47 Registro del consumo total de alimento de ratas experimentales durante 14 días (peso en gramos)

Rata	Alimento total (gramos)			
	D1	D2	D3	DLN
1	110	121	196	73
2	109	136	209	67
3	137	127	183	69
4	138	137	213	73
5	107	119	203	78
6	130	113	220	73
7	109	135	209	73
8	116	120	209	69

Cuadro No. 48 Peso en gramos de materias fecales secas recolectadas por 4 días

Rata	Materias fecales (gramos)			
	D1	D2	D3	DLN
1	2.0320	2.7832	1.5364	0.3150
2	1.9480	2.7480	1.3707	0.2193
3	2.5782	2.6154	1.3960	0.2604
4	3.4014	3.2486	0.7836	0.2400
5	1.8400	2.6673	1.5207	0.3071
6	2.9885	1.8929	0.9437	0.4217
7	2.5381	2.8162	1.5079	0.4019
8	2.0767	3.2862	0.5522	0.2461

Cuadro No. 49 Datos intermedios para la determinación de la digestibilidad verdadera (%DV)

Dieta	Rata	Proteína en heces (gramos)	Proteína ingerida (gramos)	Digestibilidad verdadera (%)
Control (100% trigo)	1	0.25	8.42	102.78
	1	0.26	8.42	102.74
	2	0.23	8.34	103.12
	2	0.23	8.34	103.09
	3	0.36	10.49	102.44
	3	0.35	10.49	102.52
	4	0.50	10.56	101.16
	4	0.50	10.56	101.12
Experimental (60 trigo/40 maíz opaco 2)	1	0.42	8.86	101.16
	1	0.41	8.86	101.26
	2	0.46	9.96	101.29
	2	0.44	9.96	101.39
	3	0.38	9.30	101.76
	3	0.38	9.30	101.74
	4	0.49	10.04	100.93
	4	0.52	10.04	100.65
Caseína	1	0.51	20.78	103.38
	1	0.50	20.78	103.43
	2	0.42	22.15	103.96
	2	0.40	22.15	104.05
	3	0.40	19.40	103.80
	3	0.40	19.40	103.80
	4	0.19	22.58	105.04
	4	0.19	22.58	105.02

c. Datos intermedios del análisis sensorial – prueba hedónica

Cuadro No. 50 Análisis de los datos obtenidos en la prueba hedónica

Escala	Apariencia	Olor	Sabor	Aceptabilidad general
7	17*7=119	11*7=77	13*7=91	11*7=77
6	18*6=108	21*6=126	21*6=126	24*6=144
5	3*5=15	5*5=25	4*5=20	2*5=10
4	0	1*4=4	0	1*4=4
3	0	0	0	0
2	0	0	0	0
1	0	0	0	0
Total	242	232	237	235
Valor	242/38= 6.368	232/38= 6.105	237/38= 6.236	235/38= 6.184