

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD PROTEICA DE RECETAS TÍPICAS DEL
DEPARTAMENTO DEL CAUCA - COLOMBIA ELABORADAS CON MAÍZ COMÚN Y
CON MAÍZ BIOFORTIFICADO CON MÁS LISINA Y TRIPTÓFANO**

PAOLA CATALINA IMBACHÍ NARVÁEZ

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2011**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD PROTEICA DE RECETAS TÍPICAS DEL
DEPARTAMENTO DEL CAUCA - COLOMBIA ELABORADAS CON MAÍZ COMÚN Y
CON MAÍZ BIOFORTIFICADO CON MÁS LISINA Y TRIPTÓFANO**

PAOLA CATALINA IMBACHÍ NARVÁEZ

Trabajo de investigación

**Directora
M. Sc. ANA DE DIOS ELIZALDE**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2011**

Nota de aceptación:

Los jurados han revisado este documento y han escuchado la sustentación por parte de la autora, encontrando satisfactorio el resultado de esta investigación.

Presidente del Jurado

Jurado

Directora

Popayán, 7 de Abril de 2011

DEDICATORIA

Al Creador, por darme la vida y brindarme la oportunidad de ser cada día mejor.

A mi madre, por preocuparse día tras día por mí y ser incondicional.

A mi familia, por ser una fuente de apoyo constante.

A mis amigas, por sacar siempre una sonrisa en mi rostro.

Y, a la memoria de mi hermano Julián, que con su recuerdo motivó muchos esfuerzos para alcanzar este logro.

A todos mil gracias.

AGRADECIMIENTOS

Este Trabajo de grado fue posible gracias a:

Su financiamiento por parte de: AgroSalud (CIDA7034161), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Monsanto Fund.

La colaboración de: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Proyecto AgroSalud, Universidad del Cauca, Comunidad caucana entrevistada, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Laboratorio de Calidad Nutricional, Consorcio Latinoamericano y del Caribe de apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA), Laboratorio de Calidad de Yuca y Laboratorio de Servicios Analíticos.

La Dra. Helena Pachón, la M. Sc. Ana De Dios Elizalde, al Tecnólogo Químico y de Alimentos Dayron Gutiérrez, al Qco. Darwin Ortiz, a la Nutricionista Sayda Pico Fonseca, a la Comunicadora Social Marlene Rosero, al Ing. Andrés Escobar, al Ing. Freddy Salazar, y a la Ing. Sandra Salazar, por su aporte técnico y conocimientos.

A todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron parte integral de este proyecto.

A todos, mil gracias.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	15
1.1. PROTEÍNAS	15
1.1.1. Aminoácidos.	15
1.1.2. Requerimientos de proteína.	16
1.1.3. Deficiencia en la ingesta de proteína en Colombia.	17
1.1.4. Calidad de las proteínas.	19
1.1.5. Evaluación de la calidad de proteínas.	20
1.1.6. Lisina.	22
1.1.7. Triptófano.	23
1.1.8. Proteína vegetal.	24
1.1.9. Proteína Soluble.	24
1.2. MAÍZ	26
1.2.1. Botánica.	26
1.2.2. Exigencias edafoclimáticas.	28
1.2.3. Importancia del maíz en la nutrición humana.	28
1.2.3.1. Proteínas del maíz.	29
1.2.4. El maíz en el Departamento Del Cauca.	30
1.2.5. Maíz biofortificado.	30
1.2.5.1. Experiencias en nutrición, relacionadas con el uso del maíz biofortificado.	32
2. METODOLOGÍA	36
2.1. FASE I: DOCUMENTACIÓN O SOPORTE TEÓRICO	37
2.2. FASE II: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE FORMULACIONES O RECETAS CAUCANAS PARA LA PREPARACIÓN DE ALIMENTOS	37
2.3. FASE III. APLICACIÓN DE FORMULACIONES PARA LA PREPARACIÓN DE ALIMENTOS.	38
2.3.1. Preparación de alimentos con maíz seco.	38

2.3.2. Preparación de alimentos con maíz tierno.	38
2.4. FASE IV. EVALUACIÓN DE VARIABLES EN LOS ALIMENTOS PREPARADOS BAJO DIFERENTES FORMULACIONES	42
2.4.1. Liofilización.	42
2.4.2. Molienda.	42
2.4.3. Extracción de materia grasa.	43
2.4.4. Medición de Nitrógeno (N).	43
2.4.5. Cuantificación de Triptófano.	43
2.4.6. Cuantificación de proteína soluble.	43
2.4.7. Determinación de digestibilidad “ <i>in vitro</i> ” de proteína	43
2.5. FASE V. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	44
2.5.1. Diseño experimental.	44
2.5.2. Análisis estadístico.	44
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	46
3.1. CUANTIFICACIÓN DE PROTEÍNA.	46
3.1.1. Maíz seco amarillo.	47
3.1.2. Maíz Seco Blanco.	49
3.1.3. Maíz tierno amarillo.	50
3.1.4. Maíz tierno blanco.	51
3.2. CUANTIFICACIÓN DE TRIPTÓFANO	51
3.2.1. Maíz seco amarillo.	53
3.2.2. Maíz seco blanco.	53
3.2.3. Maíz tierno Amarillo.	56
3.2.4. Maíz tierno blanco.	57
3.3. CUANTIFICACIÓN DE PROTEÍNA SOLUBLE	58
3.3.1. Maíz seco amarillo.	59
3.3.2. Maíz seco blanco.	60
3.3.3. Maíz tierno amarillo.	62
3.3.4. Maíz tierno blanco.	63
3.4. DETERMINACIÓN DE DIGESTIBILIDAD “IN VITRO” DE PROTEÍNA.	64
3.4.1. Maíz seco amarillo.	64
3.4.2. Maíz seco blanco.	65

3.4.3. Maíz tierno amarillo.	65
3.4.4. Maíz tierno blanco.	65
4. CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXO A. ENCUESTA PARA LA CONSULTA DE RECETAS ELABORADAS CON MAÍZ.	75

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Requerimiento promedio estimado (EAR*) de proteínas según el ICBF.	16
Cuadro 2. Requerimiento promedio estimado (EAR*) de proteínas según el IOM.	16
Cuadro 3. Necesidades de aminoácidos en niños de 2 a 5 años y ratas de laboratorio.	22
Cuadro 4. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%).	29
Cuadro 5. Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz.	29
Cuadro 6. Niveles de lisina y triptófano como un porcentaje de la proteína total en la harina del grano entero del maíz común, QPM, y modelo de requerimientos para niños de la FAO.	31
Cuadro 7. Condición de nutrición antes y después de los tratamientos.	32
Cuadro 8. Promedio del puntaje de la evaluación sensorial para tres comidas ghaneses.	33
Cuadro 9. Formulaciones seleccionadas para ser replicadas en el laboratorio.	37
Cuadro 10. Lugar de origen del maíz QPM y el maíz normal, empleados como materia prima.	38
Cuadro 11. Contenido de proteína total (g de proteína/kg de producto seco, humedad 1%) presente en los granos enteros de maíz seco y tierno, común y QPM, (n=3).	46
Cuadro 12. Contenido de proteína total (g de proteína/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco amarillo común y con maíz seco amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	47
Cuadro 13. Contenido de proteína total (g de proteína/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco blanco común y con maíz seco blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	49

Cuadro 14. Contenido de proteína total (g de proteína/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno amarillo común y con maíz tierno amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	50
Cuadro 15. Contenido de proteína total (g de proteína/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno blanco común y con maíz tierno blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	52
Cuadro 16. Contenido de Triptófano (g de triptófano/100 g de producto seco, humedad 1%) presente en los grano enteros de maíz seco y tierno, amarillo y blanco, común y QPM, (n=3).	52
Cuadro 17. Contenido de Triptófano (g de triptófano/100 g de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco amarillo común y con maíz seco amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	54
Cuadro 18. Contenido de Triptófano (g de triptófano/100 g de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco blanco común y con maíz seco blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	55
Cuadro 19. Contenido de Triptófano (g de triptófano/100 g de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno amarillo común y con maíz tierno amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	56
Cuadro 20. Contenido de Triptófano (g de triptófano/100 g de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno blanco común y con maíz tierno blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	57
Cuadro 21. Contenido de proteína soluble (g de proteína soluble/Kg de producto seco, humedad 1%) presente en los grano enteros de maíz seco y tierno, amarillo y blanco, común y QPM, (n=3).	58
Cuadro 22. Contenido de proteína soluble (g de proteína soluble/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco amarillo común y con maíz seco amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	60
Cuadro 23. Contenido de proteína soluble (g de proteína soluble/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco blanco común y con maíz seco blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	61

Cuadro 24. Contenido de proteína soluble (g de proteína soluble/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno amarillo común y con maíz tierno amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	62
Cuadro 25. Contenido de proteína soluble (g de proteína soluble/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno blanco común y con maíz tierno blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	63
Cuadro 26. Digestibilidad “ <i>in vitro</i> ” de proteína (% de digestibilidad) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco amarillo común y con maíz seco amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	64
Cuadro 27. Digestibilidad “ <i>in vitro</i> ” de proteína (% de digestibilidad) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco blanco común y con maíz seco blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	65
Cuadro 28. Digestibilidad “ <i>in vitro</i> ” de proteína (% de digestibilidad) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno amarillo común y con maíz tierno amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	66
Cuadro 29. Digestibilidad “ <i>in vitro</i> ” de proteína (% de digestibilidad) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno blanco común y con maíz tierno blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).	66

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Prevalencia de la deficiencia en la ingesta de proteínas según las características sociodemográficas.	17
Figura 2. Prevalencia de deficiencia en la ingesta de proteínas, según el área.	18
Figura 3. Prevalencia de deficiencia en la ingesta de proteínas, según nivel del SISBEN.	18
Figura 4. Prevalencia de deficiencia en la ingesta de proteínas, por departamento.	19
Figura 5. Estructura química del aminoácido lisina.	23
Figura 6. Estructura química del aminoácido triptófano.	23
Figura 7. Planta del maíz.	26
Figura 8. Estructura del grano de maíz.	27
Figura 9. Fases del proyecto.	36
Figura 10. Preparación de alimentos con maíz seco blanco.	39
Figura 11. Preparación de alimentos con maíz seco amarillo.	40
Figura 12. Preparación de alimentos con maíz tierno blanco o maíz tierno amarillo.	41
Figura 13. Molienda en molino artesanal de bolas de circonio.	42
Figura 14. Diseño experimental.	45
Figura 15. Correlación de proteína soluble y nitrógeno en muestras de preparaciones de maíz.	58

RESUMEN

Colombia es un país en el que se presenta deficiencia en la ingesta de proteínas, pues la mayoría de proteína consumida es de origen vegetal y esta no posee la misma calidad proteica que la animal por su bajo contenido de aminoácidos esenciales como lisina, triptófano y metionina. El departamento del Cauca, es el segundo departamento con mayor prevalencia de deficiencia en la ingesta de proteínas a nivel nacional; adicionalmente, cerca del 12% de la ingesta diaria de proteína consumida en el país, proviene del maíz.

El maíz de alta calidad proteica o maíz QPM, es una variedad de maíz biofortificado, obtenida por fitomejoramiento convencional, el cual posee un mayor contenido de los aminoácidos lisina y triptófano si se compara con el maíz común.

En el presente estudio, se investigó si el maíz QPM presentaba mejor calidad proteica que el maíz común, cuando se utilizó en preparaciones tradicionales del Cauca; para ello se evaluaron 10 preparaciones, elaboradas de la forma tradicional, empleando maíz QPM ó maíz común, tierno ó seco, blanco ó amarillo dependiendo de la preparación.

Se realizó la cuantificación del aminoácido triptófano y de la proteína soluble; adicionalmente, se determinó la digestibilidad “*in vitro*” de la proteína. Se encontró que 11 alimentos preparados con maíz QPM presentaron mayor concentración de triptófano, 6 presentaron mayor concentración de proteína soluble y 3 mayor digestibilidad “*in vitro*” de proteína que los elaborados con maíz común. Mientras que para el maíz común, ninguna preparación fue mayor en concentración triptófano que su homóloga de maíz QPM y sólo una fue mayor en proteína soluble y una en digestibilidad “*in vitro*” de proteína.

INTRODUCCIÓN

Velar por la seguridad alimentaria y nutricional, es encontrar la forma de brindar a la población un adecuado suministro de alimentos tanto en cantidad como en calidad. Según la encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia (ENSIN), el 40,8% de los hogares colombianos se encontraron con inseguridad alimentaria en el año 2005¹; en consecuencia, para contribuir al mejoramiento de la seguridad alimentaria y nutricional, se han venido desarrollando diferentes cultivos biofortificados, con la intención de ofrecer una mejor nutrición, empleando la misma cantidad de alimentos, pero con una mayor calidad de nutrientes.

Entre las variedades de cultivos biofortificados desarrolladas se encuentra el maíz QPM (Quality Protein Maize), el cual es una variedad mejorada de la variedad opaco 2, que además de presentar una mejor calidad nutricional, presenta también un buen rendimiento en el cultivo y la cosecha².

La variedad QPM, es un maíz que tiene la misma cantidad de proteína que un maíz común; sin embargo, su balance de aminoácidos es mejor, ya que posee un mayor contenido de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, razón por la cual es considerado un maíz de mayor calidad nutricional.

Por tal motivo, esta variedad de maíz, es vista como una posibilidad para brindar una mejor nutrición; sin embargo, para comprobar este efecto, es necesario conocer qué tan digerible es la proteína que tiene este maíz, así como cuantificar la cantidad de proteína y de aminoácido triptófano que son retenidos en el alimento después de la preparación. Por tanto, con el propósito de encontrar respuesta a estos planteamientos, se realizó este estudio, con el objetivo de analizar la retención de proteína y de triptófano del maíz QPM, así como la digestibilidad de la proteína y poder compararlo con una variedad común de maíz, elaborando para esto preparaciones típicas del departamento del Cauca – Colombia, los cuales son considerados componentes de la dieta básica.

¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR, ICBF. Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia, 2005. Bogotá: Oficina de comunicaciones y atención al ciudadano. 2006. p. 323.

² VIVEK, B.S. *et. al.* Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM. México, D.F.: CIMMYT. 2008. p. VII.

1. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

1.1. PROTEÍNAS

La importancia de la ingesta de proteína en la dieta para el desarrollo del ser, fue demostrada en los años 1800, por los experimentos nutricionales de François Magendie³.

Las proteínas son macromoléculas constituidas por largas cadenas de aminoácidos unidas por enlaces peptídicos, las cuales constituyen el mayor componente de las células del cuerpo⁴. Cumplen diversas funciones como: mantenimiento de la estructura corporal (ej. colágeno), facilitar el movimiento (ej. actina y miosina para la contracción del músculo), transporte (ej. hemoglobina que transporta oxígeno y los sistemas de transporte de membranas), metabolismo (ej. enzimas), regulación (ej. factores de crecimiento) y función inmune (ej. inmunoglobulinas)³; forman parte de enzimas, membranas transportadoras, moléculas transportadas en la sangre, el cabello, las uñas y el colágeno entre otros; además, los aminoácidos actúan como precursores de muchas coenzimas, hormonas, ácidos nucleicos y otras moléculas indispensables para la vida^{3,4}.

Una adecuada ingesta de proteína en la dieta es indispensable para mantener la integridad y el funcionamiento celular y una buena salud y reproducción⁴. En la juventud, la proteína en la dieta no sólo es indispensable para el mantenimiento de las proteínas en el cuerpo, sino que contribuye al incremento de la masa de proteína asociada con el crecimiento y, si la proteína dietaria se limita, el crecimiento se ve retardado³.

1.1.1. Aminoácidos. Son moléculas con un centro quiral, lo cual les permite rotar en el plano de la luz polarizada, pudiendo así encontrarse moléculas levógiras (L) que giran a la izquierda o dextrógiras (D) que giran a la derecha; en las proteínas, los aminoácidos casi siempre se encuentran en la forma L⁵. Entre los L-aminoácidos que tienen importancia a nivel nutricional se encuentran: glicina, alanina, valina, leucina, isoleucina, fenilalanina, tirosina, triptófano, serina, treonina, cisteína, metionina, prolina, ácido glutámico, glutamina, ácido aspártico, asparagina, lisina, histidina y arginina. La composición de estos en las proteínas, puede influenciar la digestibilidad⁶.

³ STIPANUK, Martha H. Biochemical and physiological aspects of human nutrition. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 2000. p. 212.

⁴ INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. Washington, D.C.: The national academies press, 2005. p. 590.

⁵ STIPANUK, Martha H. Op. cit., p. 24,25.

⁶ INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Op. cit., p. 590, 591.

Los aminoácidos se clasifican en dos grupos: aminoácidos esenciales y aminoácidos no esenciales, siendo los primeros los de mayor importancia, debido a que no pueden ser sintetizados por el cuerpo y deben ser ingeridos en la dieta. A este grupo pertenecen: isoleucina, leucina, valina, metionina, fenilalanina, triptófano, treonina y lisina⁷. Cabe mencionar que la histidina es considerada esencial en el caso de los bebés, ya que son los adultos quienes sí pueden sintetizar este aminoácido⁷.

1.1.2. Requerimientos de proteína. Las proteínas se encuentran en el cuerpo humano formando parte de muchos órganos, células y sustancias, razón por la cual deben ser ingeridas en la dieta diaria, de manera que no se produzcan deficiencias que puedan ocasionar diversas enfermedades⁸. En los cuadros uno y dos, se muestra el requerimiento promedio estimado de ingesta de proteína (EAR por sus siglas en inglés), según el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) y el Instituto de Medicina de los Estados Unidos (IOM: Institute Of Medicine), respectivamente.

Cuadro 1. Requerimiento promedio estimado (EAR*) de proteínas según el ICBF.

Ambos sexos		Hombres		Mujeres	
Edad/años	EAR (g/kg/día)	Edad/años	EAR (g/kg/día)	Edad/años	EAR (g/kg/día)
1 a 3	1,22	14 a 18	1,00	14 a 18	0,98
4 a 8	1,10	19 a 64	0,91	19 a 64	0,91

* Valor ajustado por digestibilidad de 80 y cómputo aminoacídico de 90 según datos de la dieta mixta de los países latinoamericanos.

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR (ICBF). Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia, 2005. Bogotá: Oficina de comunicaciones y atención al ciudadano. 2006, p. 239

Cuadro 2. Requerimiento promedio estimado (EAR*) de proteínas según el IOM.

Ambos sexos		Hombres		Mujeres	
Edad	EAR (g/kg/día)	Edad/años	EAR (g/kg/día)	Edad/años	EAR (g/kg/día)
7 a 12	1,00	14 a 18	0,73	14 a 18	0,71
1 a 3	0,87	19 a 30	0,66	19 a 30	0,66
4 a 8	0,76	31 a 50	0,66	31 a 50	0,66
9 a 13	0,76	51 a 70	0,66	51 a 70	0,66
-	-	> 70	0,66	> 70	0,66
-	-	-	-	Embarazo	0,88
-	-	-	-	Lactantes	1,05

Fuente: INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. Washington, D.C.: The national academies press. 2005, p. 629, 631, 632, 644, 655.

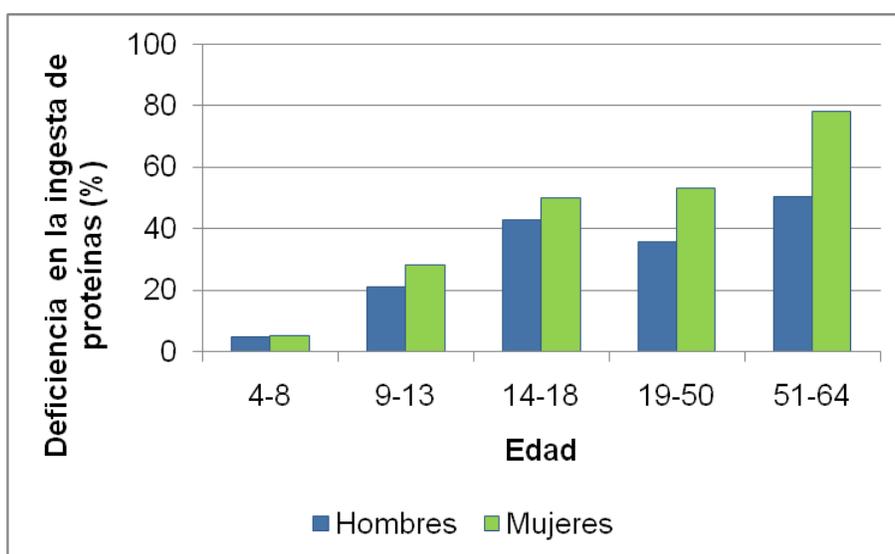
⁷ INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Op. cit., p. 593,4.

⁸ Ibíd., p. 595.

1.1.3. Deficiencia en la ingesta de proteína en Colombia. Las proteínas son un componente necesario para el funcionamiento de las células y los órganos. Es necesario ingerir suficiente proteína como energía no proteica (carbohidratos y grasas), para que la cadena de carbono de los aminoácidos no sean usados como fuente de energía⁹. La pérdida de proteína en el cuerpo se ve acompañada de estados de enfermedad como traumas, cáncer e infecciones^{9,10}. Así mismo, si no hay una adecuada y balanceada ingesta de aminoácidos, y por ende su uso se puede ver afectado⁹.

En la figura 1 se observa que según el ICBF¹¹ para el año 2005, en Colombia la prevalencia de deficiencia en la ingesta usual de proteínas fue del 36%; este valor se incrementó a partir de los 14 años, edades en las que el porcentaje de riesgo alcanzó 43,1% en los hombres y 50,1% en las mujeres¹¹.

Figura 1. Prevalencia de la deficiencia en la ingesta de proteínas según las características sociodemográficas.

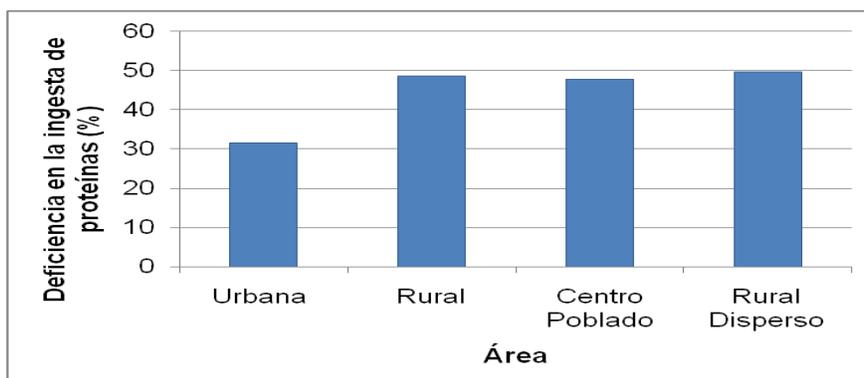


Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR (ICBF). Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia, 2005. Bogotá: Oficina de comunicaciones y atención al ciudadano. 2006, p. 245.

En la figura 2 se puede ver que según el área donde se encuentran ubicados los individuos, la proporción en riesgo de deficiencia en la ingesta de proteínas, fue mayor para el área rural, con un valor de 48,5%¹¹.

⁹ INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Op. Cit., p. 608, 609.
¹⁰ STIPANUK, Martha H. Op. Cit., p. 212.
¹¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR (ICBF). Op. Cit., p. 245.

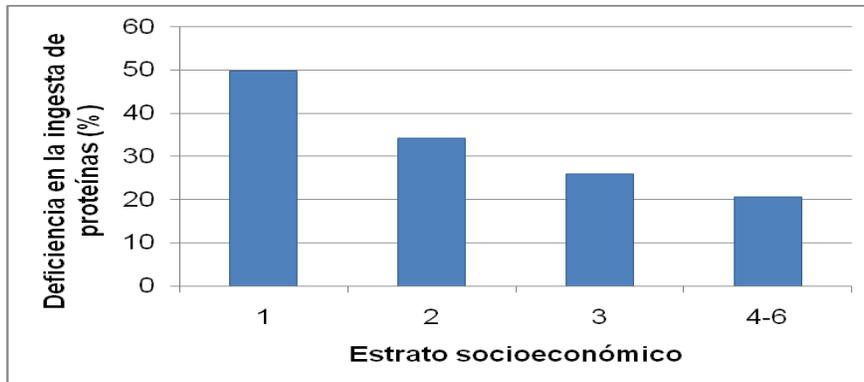
Figura 2. Prevalencia de deficiencia en la ingesta de proteínas, según el área.



Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR (ICBF). Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia, 2005. Bogotá: Oficina de comunicaciones y atención al ciudadano. 2006, p. 265.

En la figura 3, se observa que de acuerdo al estrato socioeconómico o nivel del SISBEN la prevalencia de deficiencia en la ingesta de proteínas, fue mayor para el nivel uno con un valor de 49.7%¹².

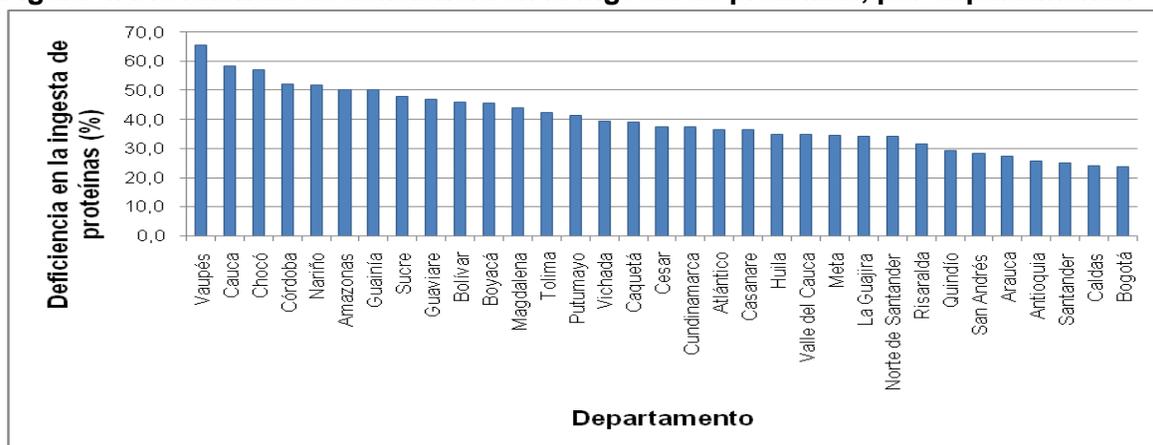
Figura 3. Prevalencia de deficiencia en la ingesta de proteínas, según el estrato socioeconómico.



Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR (ICBF). Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia, 2005. Bogotá: Oficina de comunicaciones y atención al ciudadano. 2006, p. 245.

Las regiones Atlántica y Pacífica fueron las más afectadas; en estas, la proporción de individuos en riesgo de ingesta inadecuada de proteínas fue del 44,2% y 43,5%, respectivamente¹². Los departamentos en los que se encontró mayor prevalencia de deficiencia en la ingesta de proteínas fueron Vaupés con 65,3%, Cauca con 58,4% y Chocó con 57,1% (Figura 4)¹².

Figura 4. Prevalencia de deficiencia en la ingesta de proteínas, por departamento.



Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR (ICBF). Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia, 2005. Bogotá: Oficina de comunicaciones y atención al ciudadano. 2006, p. 265.

1.1.4. Calidad de las proteínas. Las diferentes fuentes de proteína, varían ampliamente en su composición química, así como también en su valor nutricional¹³. La calidad de la proteína depende tanto de la proporción de aminoácidos indispensables que contiene en relación a los requerimientos humanos, como de la biodisponibilidad de los mismos, término que se refiere a la capacidad para incorporar los aminoácidos de la dieta a las estructuras corporales y que puede verse afectada tanto por una mala digestión como por una absorción incompleta¹⁴. La mejor calidad se obtiene cuando hay presencia de todos los aminoácidos esenciales¹³.

Entre los factores que determinan la calidad de la proteína se encuentran la digestibilidad de la proteína, la disponibilidad de los aminoácidos y el patrón de aminoácidos¹⁵.

Digestibilidad de la proteína: se refiere a la parte de la proteína que es digerida y que contribuye a satisfacer las necesidades o requerimientos de proteína diaria¹⁵.

Disponibilidad de aminoácidos: se usa para describir la integridad química de un aminoácido¹⁶, la cual se puede ver afectada después del procesamiento para el consumo¹⁷.

¹² INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR (ICBF). Op. Cit., p. 245.

¹³ INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Op. cit., p. 682.

¹⁴ BADUI DERGAL, Salvador. Química de los alimentos. Ed. 4. Edo. De México: Pearson Educación de México S.A. de C.V., 2006. p. 205.

¹⁵ STIPANUK, Martha H. Op. cit., p. 292.

¹⁶ *Ibíd.*, p. 293.

¹⁷ FUFU, H. *et al.* Assessment of protein nutritional quality and effects of traditional processes: A comparison between Ethiopian quality protein maize and five Ethiopian adapted normal maize cultivars. En: *Nahrung/Food*. 2003, vol. 47, no. 4, p. 269-73.

Durante el procesamiento de los alimentos, puede haber pérdida en la disponibilidad de lisina debido a los tratamientos térmicos en presencia de azúcares reductores, proceso también conocido como reacción de Maillard; así mismo, cuando una proteína es expuesta a tratamientos severos con soluciones alcalinas, los residuos de lisina y cisteína pueden reaccionar juntos para dar lugar a la formación de lisinoalanina, que puede ser tóxica y por tanto disminuye su disponibilidad¹⁸. Adicionalmente el valor nutritivo en el maíz, también puede ser afectado por la estructura física del grano, la genética, los factores ambientales y otros eslabones en la cadena alimenticia¹⁹.

Patrón de aminoácidos: que es el mayor factor más importante para determinar la calidad de una proteína; generalmente, cuan más cercano esté de satisfacer las necesidades o requerimientos diarios de la persona, mejor es la calidad de la proteína²⁰. El valor biológico, que se puede determinar por el aminoácido esencial presente en menor concentración con relación a los requerimientos, es el aminoácido limitante²⁰. Numerosos estudios han demostrado, dependiendo de la fuente y la preparación, que se puede necesitar más proteína de soya para mantener el balance de nitrógeno cuando se compara con proteína de clara de huevo, y que la deficiencia puede ser eliminada por la adición de metionina en la dieta de soya²¹; esto indica que el sulfo-aminoácido metionina puede ser limitante en la soya. Similarmente el aminoácido limitante en el trigo es la lisina²¹, y para el maíz los aminoácidos esenciales limitantes son la lisina y el triptófano, encontrándose bajas cantidades tanto en el germen como en el endospermo¹⁹.

El concepto de aminoácido limitante, ha permitido la práctica del tanteo de aminoácidos o tanteo químico, donde la composición de aminoácidos de una fuente específica de aminoácidos es comparada con un perfil de referencia de composición de aminoácidos de buena calidad como por ejemplo el huevo, que se considera que tiene una proteína de buena calidad por su balance de aminoácidos relacionado con las necesidades humanas²¹.

1.1.5. Evaluación de la calidad de proteínas. Constituye un factor esencial para determinar el valor nutricional y comercial²². No todas las proteínas son iguales, ya que se

¹⁸ SHILS, Maurice E. *et al.* Modern Nutrition in Health and Disease. Ed. 10. Estados Unidos: Lippincott Williams & Wilkins. 2006. p. 57.

¹⁹ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. EL maíz en la nutrición humana. [En línea]. 1993. <<http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S0-3.htm>>. [Consultado noviembre 12 de 2010]

²⁰ STIPANUK, Martha H. Op. cit., p. 293.

²¹ INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Op. cit., p. 685.

²² ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Food, nutrition and agriculture: 2/3 Nutrient requirements: Recent developments in protein quality evaluation. [En línea]. 1991. <<http://www.fao.org/docrep/U5900T/u5900t07.htm#novedades-%20en%20la%20evaluaci%F3n%20de%20la%20calidad%20de%20las%20prote%EDnas>>. [Consultado Junio 18 de 2008].

diferencian por su origen, composición de aminoácidos, su contenido de aminoácidos esenciales, digestibilidad, textura, entre otros²³.

La calidad de las proteínas se basa en que estas sean digeribles y contengan los aminoácidos esenciales en cantidades correspondientes a los requerimientos humanos, ya que estos necesitan una cantidad mínima, que proceda de fuentes biológicamente disponibles²³; las cantidades requeridas varían con la edad, las condiciones psicológicas y el estado de salud²³.

La medición más exacta de la calidad de la proteína para uso humano, se obtiene mediante estudios clínicos realizados en sujetos, en los cuales se realiza la determinación del crecimiento o de la retención del nitrógeno, en función del consumo de proteína; las ratas son los animales experimentales más utilizados. Los métodos pueden ser: químicos, que miden el contenido de aminoácidos indispensables y lo comparan con los patrones de referencia establecidos por instituciones internacionales, enzimáticos, que estiman la digestibilidad de la proteína mediante la acción de proteasas, y microbiológicos, que evalúan el crecimiento de los microorganismos, cuyos requerimientos de aminoácidos indispensables son similares a los del ser humano²⁴.

Estudios clínicos en humanos, que miden el crecimiento y otros indicadores metabólicos, proveen la evaluación más precisa de la calidad de la proteína. Por razones éticas y de costo, tales técnicas no pueden ser usadas, en consecuencia, se han elaborado y utilizado diversas técnicas de ensayo que se basan sobre todo en la medición de la eficacia de la proteína para estimular el crecimiento de los animales²³.

La técnica del coeficiente de eficiencia de la proteína (PER por sus siglas en inglés: Protein Efficiency Ratio), es probablemente la que se aplica de modo más generalizado²³. Sin embargo, después de haber sido empleada durante decenios, se reconoció que este método reflejaba los requerimientos de aminoácidos de ratas jóvenes en crecimiento, no de seres humanos (Cuadro 3), sobreestimando así el valor de algunas proteínas animales y subestimando el de otras proteínas vegetales²³.

Se vio entonces la necesidad de elaborar un procedimiento más exacto para evaluar la calidad de las proteínas; después de varios años de investigación se llegó a la conclusión de que el procedimiento del cómputo de aminoácidos corregido en función de la

²³ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Food, nutrition and agriculture: 2/3 Nutrient requirements: Recent developments in protein quality evaluation. [En línea]. 1991. <<http://www.fao.org/docrep/U5900T/u5900t07.htm#novedades-%20en%20la%20evaluaci%F3n%20de%20la%20calidad%20de%20las%20prote%EDnas>>. [Consultado Junio 18 de 2008].

²⁴ BADUI DERGAL, Salvador. Op. cit., p. 206.

digestibilidad de las proteínas (PDCAAS por sus siglas en inglés) era el método más conveniente para evaluar la calidad de las proteínas en los productos proteínicos vegetales.²⁵

Cuadro 3. Necesidades de aminoácidos en niños de 2 a 5 años y ratas de laboratorio.

Aminoácidos esenciales	Niños (2-5 años)		Ratas de laboratorio	
	(mg/g proteína)	(mg/g N) ^a	(mg/g proteína)	(mg/g N) ^a
Arginina	-	-	50	312,5
Histidina	19	118,75	25	156,25
Isoleucina	28	175	42	262,5
Leucina	66	412,5	62	387,5
Lisina	58	362,5	58	362,5
Metionina y cisteína	25	156,25	50	315,0
Fenilalanina y tirosina	63	393,75	66	412,5
Treonina	34	212,5	42	262,5
Triptófano	11	68,75	12,5	78,125
Valina	35	218,75	50	312,5

^a factor de conversión a proteína 6,25

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Food, nutrition and agriculture: 2/3 Nutrient requirements: Recent developments in protein quality evaluation. [En línea]. 1991. <<http://www.fao.org/docrep/U5900T/u5900t07.htm#novedades%20en%20la%20evaluaci%F3n%20de%20la%20calidad%20de%20las%20prote%EDnas>>. [Consultado Junio 18 de 2008].

El método PDCAAS se basa en la puntuación de aminoácidos, en el cual se compara el perfil de aminoácidos del alimento proteico analizado, con el patrón de requisitos de aminoácidos establecido por la FAO/OMS para niños de dos a cinco años de edad. Este patrón se utiliza en niños de edades comprendidas de dos a cinco años, ya que ellos superan los patrones de requisitos de los aminoácidos de los niños de mayor edad y de los adultos. El aminoácido con valor límite es empleado para establecer la puntuación de aminoácidos no corregida, y al multiplicar dicha cifra por la digestibilidad del alimento, se obtiene el PDCAAS.²⁵

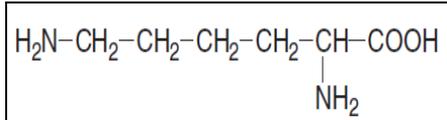
1.1.6. Lisina. Es un aminoácido indispensable o esencial en los humanos²⁶, es decir, que no es sintetizado por las células humanas, y por tanto debe ingerirse con la dieta (Figura 5)²⁷.

²⁵ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Food, nutrition and agriculture: 2/3 Nutrient requirements: Recent developments in protein quality evaluation. [En línea]. 1991. <<http://www.fao.org/docrep/U5900T/u5900t07.htm#novedades%20en%20la%20evaluaci%F3n%20de%20la%20calidad%20de%20las%20prote%EDnas>>. [Consultado Junio 18 de 2008].

²⁶ INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Op. cit., p. 723.

²⁷ STIPANUK, Martha H. Op. cit., p. 293.

Figura 5. Estructura química del aminoácido lisina.



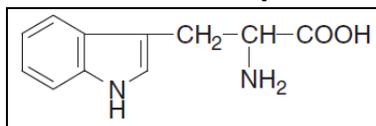
Fuente: INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. Washington, D.C.: The national academies press, 2005. p. 591.

Es un elemento necesario para la construcción de todas las proteínas del organismo. Entre sus funciones tenemos desempeñar un papel central en la absorción del calcio, en la construcción de las proteínas musculares, en la recuperación de las intervenciones quirúrgicas o de las lesiones deportivas y, en la producción de hormonas, enzimas y anticuerpos²⁸. Junto con la metionina, es importante para sintetizar la carnitina que es requerida para el transporte de las largas cadenas de ácidos grasos²⁸. Una ingesta de altos niveles de lisina interfiere con el metabolismo de la proteína dietaria y compite con el transporte de arginina²⁹.

Las proteínas de la carne, el huevo y la leche, contienen de un 7-9% de lisina, mientras que las proteínas de los cereales, principalmente las prolaminas contienen entre 2 y 4%. La lisina es un factor limitante del valor biológico de muchas proteínas vegetales y además durante los procesos tecnológicos, hay gran pérdida de este aminoácido debido a que es muy reactivo por su grupo ε-amino³⁰.

1.1.7. Triptófano. Es un aminoácido esencial que se utiliza como precursor de muchas moléculas de significancia funcional como son la niacina o vitamina B₃ y la serotonina, uno de los neurotransmisores más importantes del sistema nervioso (Figura 6)³¹. Las proteínas animales lo contienen en cantidades relativamente pequeñas (1-2%), siendo todavía menores en las proteínas de cereales (alrededor del 1%)³².

Figura 6. Estructura química del aminoácido triptófano.



Fuente: INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. Washington, D.C.: The national academies press, 2005. p. 591.

²⁸ INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Op. cit., p. 723.

²⁹ Ibíd., p. 724.

³⁰ BELITZ, Hans Dieter y GROSCH, Werner. Química de los alimentos. Ed. 2. Zaragoza: Editorial Acribia, S. A., 1997. p.15.

³¹ INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Op. cit., p. 731.

³² BELITZ, Hans Dieter y GROSCH, Werner. Op. cit., p.16.

1.1.8. Proteína vegetal. Las proteínas vegetales constituyen una fuente de nutrimentos e ingredientes funcionales de interés por su variedad, disponibilidad y costo, explotándose tanto las propiedades funcionales como los beneficios nutricionales de cada grupo de proteínas. Las proteínas vegetales se obtienen principalmente de leguminosas, cereales, oleaginosas y en baja proporción de hojas verdes³³.

La función biológica de las principales proteínas vegetales que se explotan comercialmente, es la de formar parte del endospermo de la semilla, a la que nutren durante la germinación y desarrollo, procesos durante los que se modifican los niveles de las diferentes proteínas. El grupo proteínico mayoritario varía de acuerdo al grupo de plantas del que se trate, en el caso de los cereales, dominan las glutelinas³³.

Los ingredientes vegetales ocupan un lugar importante en la dieta de la población menos favorecida en términos económicos, y por otro lado entre quienes por diferentes razones (filosóficas, religiosas, económicas, visión de salud) optan por regímenes alimentarios libres de productos animales³³.

1.1.9. Proteína Soluble. La solubilidad de una proteína es la manifestación termodinámica del equilibrio entre las interacciones proteína-proteína y solvente-proteína, que a su vez dependen de la hidrofobicidad y naturaleza iónica de las mismas³⁴.

Las interacciones hidrofóbicas promueven las interacciones proteína-proteína que inciden en una disminución de la solubilidad, mientras que las interacciones iónicas promueven la relación proteína-agua que provoca un aumento en la solubilidad³⁴.

Clasificación de las proteínas con base en su solubilidad.

Las proteínas se clasifican en cuatro categorías según su solubilidad: albúminas, globulinas, glutelinas y prolaminas³⁴.

Albúminas: son las que se solubilizan en agua a pH 6,6, como la albúmina sérica, ovoalbúmina y α -lactoalbúmina³⁴.

Globulinas: son proteínas solubles en soluciones salinas diluidas a pH 7,0 (glicina, faseolina y β -lactoglobulina³⁴). Las globulinas vegetales poseen casi todas carácter ácido, pero por calentamiento, coagulan más difícilmente que las globulinas animales y poseen

³³ BADUI DERGAL, Salvador. Op. cit., p. 222.

³⁴ Ibíd., p. 191, 192.

una mayor tendencia a la cristalización; a estas pertenecen las proteínas de reserva de las semillas vegetales³⁵.

Glutelinas: son las proteínas solubles en soluciones ácidas a pH 2,0 y alcalinas pH 12,0 como las glutelinas de trigo³⁶.

Prolaminas: son las proteínas solubles en etanol al 70%³⁶. Estas proteínas son ricas en ácido glutámico (~35%) y prolina (hasta un 13%); sin embargo, contienen poca arginina e histidina y nada de lisina. Las prolaminas más importantes son la gliadina del trigo y del centeno, la zeína del maíz y la hordenina de la cebada³⁷.

Las prolaminas y glutelinas forman el componente albuminoide principal de los granos o de la harina de cereal. Las primeras, –a diferencia de las restantes proteínas–, se pueden extraer de la harina con alcohol al 80%, pero son insolubles en alcohol puro o en agua. Las glutelinas se disuelven sólo en álcali diluido³⁷.

La presencia simultánea de gliadina y glutelina en la harina del trigo y del centeno es la condición necesaria para que una harina se pueda amasar adecuadamente. Ambas proteínas forman juntas la masa aglutinante. Las glutelinas contienen lisina y triptófano y complementan así a las prolaminas³⁷.

Muchas proteínas son solubles a pH alcalino (8-9), al que normalmente se lleva a cabo la extracción de proteínas vegetales³⁶.

La proteína soluble es un término muy empleado en la nutrición animal, en especial en rumiantes, e indica el porcentaje de proteína bruta que instantáneamente se degrada en el rumen³⁸. La solubilidad de la proteína con hidróxido de potasio es utilizada como indicador de la calidad del procesado de la soja. Cuando el poroto está "crudo", la solubilidad de la proteína es del 100% y va disminuyendo a medida que la temperatura aumenta. Mediante esta prueba analítica se consideran insuficientemente procesadas las harinas cuyos valores de solubilidad son superiores al 85% y las dañadas por calor, aquellas cuya solubilidad es inferior al 75%³⁹.

³⁵ HANS, Beyer Y WOLFGANG, Walter. Manual de química orgánica. Barcelona: Editorial Reverté S.A. 1987. p. 910, 911.

³⁶ BADUI DERGAL, Salvador. Op. cit., p. 191, 192.

³⁷ HANS, Beyer Y WOLFGANG, Walter. Op. cit., p. 910, 911.

³⁸ GALLARDO, Miriam. Concentrados y subproductos para la alimentación de rumiantes. [En línea]. <<http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/NUTRICION/TEORICOS/Tema%202.%20Material%20de%20Iectura.%20Concentrados%20y%20subproductos.pdf>>. [Consultado diciembre 2 de 2010].

³⁹ _____. Soja: Harinas de Extracción para la Alimentación del Ganado. [En línea]. <<http://www.econoagro.com/verArticulo.php?contenidoID=925>>. [Consultado diciembre 2 de 2010].

1.2. MAÍZ

El maíz (figura 7), de nombre científico *Zea mays*, pertenece a la familia de las gramíneas; es uno de los cereales más importantes del mundo. El cultivo del maíz tuvo su origen, con toda probabilidad, en América Central, especialmente en México, desde donde se difundió hasta el norte de Canadá y hacia el sur hasta la Argentina. A finales del siglo XV, tras el descubrimiento del continente americano por Cristóbal Colón, el grano fue introducido en Europa a través de España⁴⁰.

Figura 7. Planta del maíz.



Fuente: DERAS, Héctor. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA. EL Salvador. 2009. Suministrada por Proyecto AgroSalud, CIAT, Palmira – Colombia.

1.2.1. Botánica. La planta de maíz es de porte robusto, de fácil desarrollo y de producción anual⁴¹; entre sus características botánicas tenemos:

Tallo: es simple, erecto, de elevada longitud, pudiendo alcanzar los 4 m de altura, es robusto y sin ramificaciones. Por su aspecto, recuerda al de una caña y no presenta entrenudos⁴¹.

Hojas: son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas y paralelinervias. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz, presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes⁴¹.

Inflorescencia: el maíz presenta inflorescencia monoica, teniendo sus inflorescencias masculinas y femeninas separadas dentro de la misma planta. En cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula (vulgarmente denominadas espigón o penacho) de coloración amarilla, que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen. En cada florecilla que compone la

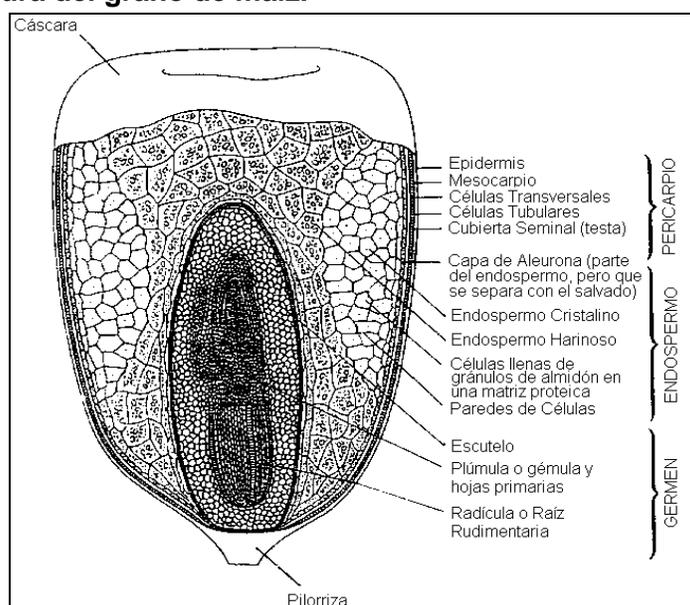
⁴⁰ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. EL maíz en la nutrición humana. [En línea]. 1993. <[http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S02.htm#Capitulo 1 Introducci3n](http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S02.htm#Capitulo%201%20Introducci3n)>. [Consultado noviembre 12 de 2010]

⁴¹ INFOAGRO. El cultivo del maíz. [En línea]. [1999]. <<http://www.infoagro.com/herbaceos-/cereales/maiz.htm>> [Septiembre 16 de 2009].

panícula, se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen⁴². La inflorescencia femenina denominada espiga o mazorca, es la estructura donde se desarrolla el grano, en un número variable de hileras (12 a 16), produciendo de 300 a 1000 granos, que pesan entre 190 y 300 g por cada 1000 granos⁴³.

El grano de maíz en botánica se denomina cariósipide; cada grano contiene el revestimiento de la semilla o cubierta seminal y la semilla como se observa en la figura 8, en la cual también se muestran las cuatro estructuras físicas fundamentales del grano: el pericarpio, cáscara o salvado, el endospermo y el germen o embrión⁴³. El maíz es a menudo de color blanco o amarillo, aunque también hay variedades de color negro, rojo y jaspeado. Hay varios tipos de grano, que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en él⁴³.

Figura 8. Estructura del grano de maíz.



Fuente: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. El maíz en la nutrición humana. Roma. [En línea]. 1993. <<http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S-00.GIF>>. [Consultado noviembre 12 de 2010].

Raíces: son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias⁴².

⁴² INFOAGRO. El cultivo del maíz. [En línea]. [1999]. <<http://www.infoagro.com/herbaceos-/cereales/maiz.htm>> [Septiembre 16 de 2009].

⁴³ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. EL maíz en la nutrición humana. [En línea]. 1993. <[http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S02.htm#Capitulo 1 Introducción](http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S02.htm#Capitulo%201%20Introducci%C3%B3n)>. [Consultado noviembre 12 de 2010].

1.2.2. Exigencias edafoclimáticas. Como toda planta, el maíz presenta ciertos requerimientos en clima, pluviometría, riegos y suelo⁴⁴.

Exigencia de clima: requiere una temperatura de 25 a 30°C, bastante incidencia de luz solar y en climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla, la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C. El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C y a partir de los 30°C pueden aparecer problemas serios debido a la mala absorción de nutrientes minerales y agua. Para la fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32°C⁴⁴.

Pluviometría: las aguas en forma de lluvia son muy necesarias en periodos de crecimiento, en un contenido de 40 a 65 cm⁴²⁴⁴.

Riegos: el maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm al día. Las necesidades hídricas varían a lo largo del cultivo; se requiere menos cantidad de agua cuando las plantas comienzan a nacer pero es necesario mantener una humedad constante. En la fase del crecimiento vegetativo, se requiere más cantidad de agua y se recomienda dar un riego unos 10 a 15 días antes de la floración. Durante la fase de floración, que es el periodo más crítico, va a depender la cantidad de producción obtenida, por lo que se aconsejan riegos que mantengan la humedad y permitan una eficaz polinización y cuajado. Por último, para el engrosamiento y maduración de la mazorca, se debe disminuir la cantidad de agua aplicada⁴⁴.

Exigencias en suelo: el maíz se adapta muy bien a todo tipo de suelo, en especial a los de pH entre 6 y 7. También requiere suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular⁴⁴.

1.2.3. Importancia del maíz en la nutrición humana. El maíz es uno de los cereales más importantes del mundo y suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales⁴⁵; según la ENSIN en el 2005, 6,2% de los individuos en Colombia consumían maíz en un promedio de 87,5 g/individuo/día⁴⁶. El maíz se consume en diferentes preparaciones como tortillas, tamales, atole⁴⁷, arepas, sopas, entre otros; es una materia prima básica en la industria de transformación, con la que se producen almidones, aceites y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes y, recientemente, combustible⁴⁵.

⁴⁴ INFOAGRO. el cultivo del maíz. [En línea]. [1999]. <<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/-maiz.htm>> [Septiembre 16 de 2009].

⁴⁵ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. EL maíz en la nutrición humana. [En línea]. 1993. <[http://www.fao.org/docrep/t0395s/T039-5S02.htm#Capitulo 1 Introducción](http://www.fao.org/docrep/t0395s/T039-5S02.htm#Capitulo%201%20Introducci3n)>. [Consultado noviembre 12 de 2010].

⁴⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR, ICBF. Op. cit., p. 303.

⁴⁷ BADUI DERGAL, Salvador. Op. cit., p. 226.

1.2.3.1. Proteínas del maíz. El maíz es un alimento pobre en cuanto a cantidad y calidad de proteína (Cuadro 4), esto lo hace incapaz de satisfacer las necesidades diarias de proteína, en especial de los grupos vulnerables a la malnutrición⁴⁸. Contiene aproximadamente 9,5% de proteína, una cantidad baja si se compara con las semillas de legumbres como el frijol (23%), soya (38%) o la oleaginosa maní (26%)⁴⁸. Sin embargo, su más seria limitación, como se observa en el cuadro 5, consiste en la baja cantidad de dos aminoácidos esenciales: lisina y triptófano⁴⁸.

Cuadro 4. 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. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. EL maíz en la nutrición humana. [En línea]. 1993. <<http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S03.htm#Capitulo 2 Composición química y valor nutritivo del maíz>>. [Consultado noviembre 12 de 2010].

Cuadro 5. Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz.

Aminoácido	Endospermo ^a		Germen ^b		Modelo FAO/OMS
	%	mg/g N	%	mg/g N	mg/g N
Triptófano	48	38	144	62	60
Treonina	315	249	622	268	250
Isoleucina	365	289	578	249	250
Leucina	1 024	810	1 030	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 % de N					
^b 2,32 % de N					
Fuente: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. EL maíz en la nutrición humana. [En línea]. 1993. < http://www.fao.org/docrep-t0395s/T0395S04.htm#CUADRO 6 >. [Consultado noviembre 12 de 2010].					

⁴⁸ PANEL ON QUALITY PROTEIN MAIZE. Quality Protein Maize. Washington, D.C.: National academy press, 1998.

1.2.4. El maíz en el Departamento Del Cauca. Una de las características de una región es precisamente su alimentación y en ellas se reflejan aspectos tan variados como: sus cultivos, sus hábitos alimenticios y en general, parte de la cultura de la región⁴⁹. En el Cauca, durante el periodo de la conquista, la cocina española se enriqueció con las costumbres Indígenas, que consumían el maíz, el arroz, la papa o patata, el pavo, el conejo, el cuy, el pimentón, el chocolate, agua de panela y miel de abejas, entre otros⁵⁰.

En la parte central del Cauca, se pueden destacar una gran variedad de comidas típicas, entre ellas muchas elaboradas con maíz, como son las empanadas de pipián, la carantanta⁴⁹, la chuya o mazamorra, la cauncha⁵¹, la sopa de tortilla, los envueltos de maíz y bebidas como el champús y la aloja, entre otros⁵².

Para el año 2005, la Unesco designó a la ciudad de Popayán, capital del departamento del Cauca, como la primera ciudad de la gastronomía, por su variedad y significado para el patrimonio intangible de los colombianos. La cocina caucana fue seleccionada por mantener sus métodos tradicionales de preparación a través de la tradición oral, entre las cuales se pueden destacar diferentes preparaciones a partir del maíz⁵³.

1.2.5. Maíz biofortificado. Cerca de 1963, Mertz, Bates y Nelson, tres científicos de la Universidad de Purdue, encontraron una variedad de maíz que tenía cerca del doble de los niveles de lisina y triptófano si se comparaba con el maíz común. Lo llamaron: maíz opaco 2. Normalmente, el maíz contiene cuatro clases de proteína: globulina, albúmina, prolamina (zeína) y glutelina⁵⁴. La zeína es una proteína de pobre calidad y constituye más de la mitad del contenido de proteína del maíz común⁵⁴. El gen opaco 2 disminuye el contenido de zeína en el grano hasta en un 50% y aumenta los niveles de lisina y triptófano⁵⁴.

⁴⁹ CAUCA MULTICULTURAL. Gastronomía en el Departamento del Cauca: la delicia de las comidas típicas. [En Línea]. [Actualizado Junio, 22 de 2006]. <<http://caucadiverso.blogspot.com/2006/06/gastronoma-en-el-departamentodel.html>>. [Consultado Julio 5 de 2009].

⁵⁰ TOBAR, Oscar. Gastronomía popular de Popayán. [En Línea]. [Actualizado Abril 5 de 2009] <http://www.ciudadblanca.com/gama/actualidad/formato.php?id_=886&&id_categoria>. [Consultado Julio 9 de 2009].

⁵¹ BADUI DERGAL, Salvador. Op. cit., p. 226.

⁵² QUIROGA SÁNCHEZ, Christian. Cauca es cultura y naturaleza. [En línea]. [elespectador.com](http://www.elespectador.com). [Actualizado Junio 9 de 2009]. <<http://www.elespectador.com/impreso/cultura/goce/articuloimpreso-145025-cauca-cult>>. [Consultado Julio 5 de 2009].

⁵³ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA, UNESCO. Popayán, Colombia se convierte en la primera ciudad de la gastronomía de la UNESCO. [En línea]. [Actualizado Agosto 28 de 2005]. <http://portal.unesco.org/culture/es/ev.php-URL_ID=28229&URL_D-O=DO_PRINTP>. [Consultado Julio 5 de 2009].

⁵⁴ PANEL ON QUALITY PROTEIN MAIZE. Quality Protein Maize. Washington, D.C.: National academy press, 1998.

Esta variedad de maíz, tenía muchas perspectivas y se empezó a cultivar en muchos lugares, sin embargo, no tenía las características comunes en muchas regiones; su mazorca era pequeña, la cosecha rendía entre 8 y 15% menos que el maíz común, era susceptible a hongos e insectos tanto en campo como en almacenamiento y el secado era más lento, razones por las cuales el maíz opaco 2, dejó de cultivarse⁵⁵. Cerca a Ciudad de México, en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), se siguió investigando al maíz opaco 2 y a través de fitomejoramiento convencional, lograron obtener un maíz con la misma calidad nutricional del maíz opaco 2, pero con las características propias de un grano de maíz común; este maíz biofortificado fue llamado maíz de alta calidad proteínica o maíz QPM según sus siglas en inglés: Quality Protein Maize⁵⁵. En comparación con el maíz opaco 2, el maíz QPM presentaba las siguientes características: buen rendimiento en el cultivo, grano brillante y transparente como las variedades comunes, aumentó su densidad, su humedad fue menor y el tiempo de secado fue similar al del maíz común, lo que lo ha hecho más resistente a enfermedades fúngicas; además, el daño en el almacenamiento, prácticamente fue eliminado⁵⁵.

Nutricionalmente, el maíz QPM se puede considerar como una buena fuente de proteína, debido a su alto contenido de lisina y triptófano, en comparación con el maíz común⁵⁵; los niveles de lisina en el maíz común y QPM están en promedio entre 2,0% y 4,0% de la proteína total de la harina del grano entero respectivamente⁵⁶. Los niveles de lisina y triptófano están altamente correlacionados⁵⁶. En el cuadro 6 se pueden observar los niveles de lisina y triptófano como un porcentaje de la proteína total en la harina del grano entero del maíz común y QPM, y el modelo de requerimientos para niños de la FAO⁵⁶.

Cuadro 6. Niveles de lisina y triptófano como un porcentaje de la proteína total en la harina del grano entero del maíz común, QPM, y modelo de requerimientos para niños de la FAO.

Parámetro	Maíz común (%)	Maíz QPM (%)	Requerimientos FAO Niños 2-5 años (%)
Lisina	1,6 – 2,6	2,7 – 4,5	5,8
Triptófano	0,2 – 0,5	0,5 – 1,1	1,1

Fuente. KRIVANEK, Alan F; *et al.* Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. African Journal of Biotechnology. 2007, vol. 6, no. 4, p. 312-24. Disponible desde internet: <<http://www.academicjournals.org/AJB>>.

⁵⁵ PANEL ON QUALITY PROTEIN MAIZE. Quality Protein Maize. Washington, D.C.: National academy press, 1998.

⁵⁶ KRIVANEK, Alan F; *et al.* Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. African Journal of Biotechnology. 2007, vol. 6, no. 4, p. 312-24. Disponible desde internet: <<http://www.academicjournals.org/AJB>>.

1.2.5.1. Experiencias en nutrición, relacionadas con el uso del maíz biofortificado.

Numerosos estudios, muestran que la calidad nutricional del maíz QPM es superior a la del maíz común, por lo que se recomienda su consumo⁵⁷.

Ortega, *et al.*⁵⁷, realizaron un estudio en el año 2005 con niños de uno a cinco años de edad, considerados desnutridos para dos o más indicadores (peso/edad, talla/edad y peso/talla), y encontraron resultados positivos en los niños que consumieron maíz QPM, observándose diferencias en cuanto a ganancia de peso y talla y cambios positivos en los indicadores antropométricos, con excepción del indicador peso/talla; además, presentaron menor frecuencia de infecciones respiratorias y diarreicas agudas.

Algo similar ocurrió en un estudio realizado por Morales en 2002⁵⁸, donde se evaluaron los efectos del consumo de maíz de alta calidad proteínica en niños de familias indígenas de las regiones Mazateca y Mixe del Estado de Oaxaca - México.

Para el estudio, se tuvieron dos grupos de niños con algún grado de desnutrición, a uno de estos se les suministró maíz común y al otro maíz de alta calidad proteínica. En los dos tratamientos se presentaron recuperaciones del grado común de nutrición en diferente magnitud, como se observa en el cuadro 7. El tratamiento del maíz de alta calidad proteínica, permitió la recuperación de diez niños más que en el tratamiento común, en condiciones de consumo suficiente con preparaciones a base de maíz.

Cuadro 7. Condición de nutrición antes y después de los tratamientos.

Nutrición	Maíz común		Maíz de alta calidad proteínica	
	Antes (Individuos)	Después (Individuos)	Antes (Individuos)	Después (Individuos)
Desnutridos	32	28	35	21
Común	0	4	0	14
Total	32	32	35	35

Fuente. MORALES, Mariano. Efecto del consumo de maíz de alta calidad proteínica en niños de familias indígenas de las regiones Mazateca y Mixe del estado de Oaxaca: una estrategia agronómica de desarrollo entre campesinos que practican agricultura de subsistencia (tesis). 2002. México: Colegio de Postgraduados. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.

⁵⁷ ORTEGA, Evelin, *et al.*, Efectos de la ingesta de maíz de alta calidad de proteína (QPM) versus maíz convencional en el crecimiento y la morbilidad de niños nicaragüenses desnutridos de 1 a 5 años de edad. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 2008, vol. 58, no. 4, p. 377-85.

⁵⁸ MORALES, Mariano. Efecto del consumo de maíz de alta calidad proteínica en niño(a)s de familias indígenas de las regiones Mazateca y Mixe del estado de Oaxaca: una estrategia agronómica de desarrollo entre campesinos que practican agricultura de subsistencia (tesis). 2002. México: Colegio de Postgraduados. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.

Gunaratna en 2007⁵⁹, realizó un estudio en el que se demostró que el consumo de maíz QPM comparado con el consumo de maíz convencional, permite un incremento del 8 y 9% en la tasa de crecimiento en talla y peso respectivamente, en infantes y niños que apenas empiezan a caminar, con algún grado de desnutrición, para quienes el maíz es una parte significativa de la dieta.

El maíz QPM se emplea para elaborar las mismas recetas que el maíz común, teniendo un tiempo de cocción similar⁶⁰. Se puede elaborar pan, galletas, bizcochos y tortillas entre otros. Así mismo, este maíz se puede emplear en la elaboración de productos alimenticios comerciales⁶⁰.

Ahenkora K. *et al.* en 1999⁶¹, determinaron la aceptabilidad en el consumo de maíz QPM tropical de Ghana en tres comidas típicas (tuo zafi, ga kenkey y fante kenkey). Elaboraron tres recetas con maíces biofortificados, en comparación con maíces comunes de la zona; evaluaron consistencia, sabor, apariencia y aceptabilidad global. Usaron una escala hedónica con puntajes de uno a siete, donde siete era el más alto (gusta mucho) y uno el más bajo (definitivamente no gusta). Ellos encontraron que las variedades QPM tropicales ghaneses tienen aceptabilidad en dos de las tres comidas tradicionales estudiadas: en la primera receta hubo preferencia por las elaboradas con maíces biofortificados, en la segunda no hubo diferencias entre maíces biofortificados y de la zona, y para la tercera, había diferencia pero no era tan notoria (Cuadro 8).

Cuadro 8. Promedio del puntaje de la evaluación sensorial para tres comidas ghaneses.

Variedad	Aceptabilidad global		
	Tuo zafi	Ga kenkey	Fante kenkey
Mamaba	5,87 ^{ab}	5,60 ^a	6,20 ^{ab}
Dadaba	6,21 ^a	5,47 ^a	4,87 ^c
CIDA-ba	6,14 ^a	5,48 ^a	5,13 ^c
Obatanpa	5,50 ^c	5,60 ^a	6,47 ^a
Dodzi	5,36 ^b	5,67 ^a	6,39 ^a
Local	4,93 ^c	6,07 ^a	5,53 ^{bc}
^{a-c} Letras diferentes en la misma columna significa que existen diferencias significativas (p<0,05) ^d Híbridos QPM ^e Abierto – polinizado QPM ^f Variedad mejorada común ^g Variedad no mejorada común			
Fuente. AHENKORA, Kwaku, <i>et al.</i> Protein nutritional quality and consumer acceptability of tropical Ghanaian quality protein maize. Food and Nutrition Bulletin. 1999, vol. 20, no. 3.			

⁵⁹ GUNARATNA, Nilupa. Evaluating the nutritional impact of maize varieties genetically improved for protein quality. West Lafayette, Indiana. 2007. Trabajo de grado Doctor en filosofía. Universidad de Purdue.

⁶⁰ PANEL ON QUALITY PROTEIN MAIZE. Quality Protein Maize. Washington, D.C.: National academy press, 1998.

⁶¹ AHENKORA, Kwaku, *et al.* Protein nutritional quality and consumer acceptability of tropical Ghanaian quality protein maize. Food and Nutrition Bulletin. 1999, vol. 20, no. 3.

El maíz QPM también ha sido estudiado en cuanto a sus propiedades físicas, su composición y comportamiento durante y tras los procesos de cocción.

Serna-Saldivar *et al.* en el año 2008⁶², compararon las características físicas del grano y la calidad de la proteína de catorce variedades de QPM, con dos variedades de maíz normal (Control). Encontraron que el peso y la textura del grano QPM, disminuyeron el tiempo óptimo de cocción, de acuerdo al encontrado con las ecuaciones de regresión. Así mismo, encontraron que el maíz QPM presentó mayor cantidad de lisina, triptófano y albúminas/globulinas al comparar con los controles.

Mendoza-Elos *et al.* en 2006⁶³, realizaron una comparación entre el contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y maíz normal. Encontrando que el maíz QPM presentó cerca del doble contenido de estos aminoácidos que el maíz normal.

Chávez en 1972⁶⁴, realizó una comparación entre la composición química del maíz Opaco-2 (precursor del QPM) y una variedad corriente. Además, comparó la calidad de la arepa de estos dos maíces. Encontró superioridad en la calidad proteica de las arepas elaboradas con opaco-2 y además determinó que la calidad de este se ve menormente afectada que la del maíz corriente al ser sometida al proceso de pilado ó trilla.

Serna-Saldivar *et al.* en 1987⁶⁵, investigaron los efectos del proceso de cocción con cal en la digestibilidad de energía y proteína del maíz normal, encontrando que la adición de cal durante la cocción de los granos de maíz enteros no afecta la utilización de la energía y en cambio disminuye considerablemente la utilización del nitrógeno. De esta manera, se ve afectada significativamente el valor biológico aparente del maíz.

Ortega *et al.* en 1986⁶⁶, realizaron un estudio comparativo sobre el cambio de proteína en el maíz normal y el maíz QPM durante la elaboración de la tortilla. Encontraron que tanto la cantidad de aminoácidos lisina y triptófano, como la digestibilidad de la proteína, disminuyen durante la elaboración de la tortilla para ambos maíces.

⁶² SERNA-SALDIVAR S.O., *et al.* Evaluation of the lime-cooking and tortilla making properties of quality protein maize hybrids grown in Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2008, vol. 63, p. 119-25.

⁶³ MENDOZA-ELOS M., *et al.* Contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y Ciencia*. 2006, vol. 22, no. 2, p. 153-61.

⁶⁴ CHÁVEZ J.F. Composición del maíz opaco-2 venezolano: Análisis y calidad biológica de la arepa de opaco-2 y de maíz corriente. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 1972, vol. 2 no. 1, p. 147-60.

⁶⁵ SERNA-SALDIVAR S.O., *et al.* Effects of lime cooking on energy and protein digestibilities of maize and sorghum. *Cereal Chemistry*. 1987, vol. 64, no. 4, p. 247-52.

⁶⁶ ORTEGA, E; VILLEGAS, E. y VASAL S. A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chemistry*. 1986, vol. 63, no. 5, p. 446-51.

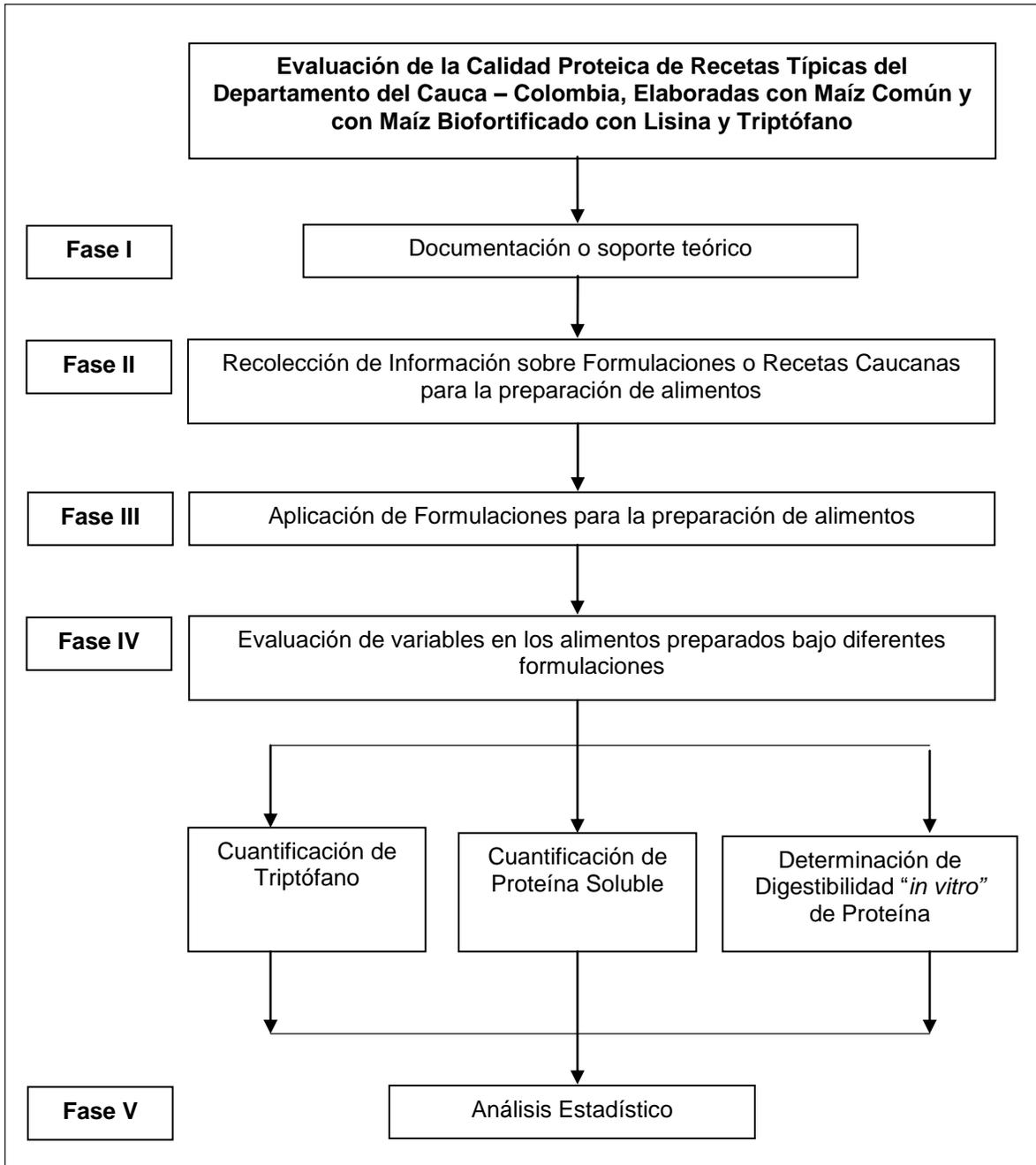
Milán-Carrillo *et al.* en 2004⁶⁷, realizaron un estudio para optimizar el proceso de nixtamalización del maíz QPM. Ellos encontraron que las mejores condiciones para obtener una optima harina nixtamalizada de maíz QPM eran: 31 min de cocción, 5,4 g de $\text{Ca(OH)}_2/\text{L}$ de cal y 8,1 h de remojo.

⁶⁷ MILÁN-CARRILLO, J, *et al.* Nixtamalized flour from quality protein maize (*Zea mays* L.). Optimization of alkaline processing. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2004, vol. 59, p. 35-44.

2. METODOLOGÍA

Como se muestra en la figura 9 el desarrollo de este proyecto se realizó en cinco fases o etapas, las cuales se describen secuencialmente más adelante.

Figura 9. Fases del proyecto.



2.1. FASE I: DOCUMENTACIÓN O SOPORTE TEÓRICO

Se hizo una revisión bibliográfica sobre cada uno de los elementos empleados como insumos para el objetivo de la investigación, documentación encontrada, bibliotecas, revistas científicas, internet, entre otros.

2.2. FASE II: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE FORMULACIONES O RECETAS CAUCANAS PARA LA PREPARACIÓN DE ALIMENTOS

Se realizó un acercamiento a amas de hogar y microempresarios, para indagar y conocer recetas o formulaciones de alimentos que emplean el maíz como ingrediente, mediante la realización de una encuesta (Anexo A).

Se seleccionaron catorce recetas o formulaciones (Cuadro 9), para replicar en el laboratorio, cada una con maíz común y con maíz QPM, las cuales sumaron 28 preparaciones en total.

Cuadro 9. Formulaciones seleccionadas para ser replicadas en el laboratorio.

RECETA	TIPO DE MAÍZ								TOTAL
	MAÍZ COMÚN				QPM				
	MTB ¹	MTA ²	MSB ³	MSA ⁴	MTB ¹	MTA ²	MSB ³	MSA ⁴	
1. Choclo frito	X	X			X	X			4
2. Choclo Cocido	X	X			X	X			4
3. Envuelto de choclo	X	X			X	X			4
4. Masas de choclo	X	X			X	X			4
5. Arepas de maíz			X				X		2
6. Envueltos de Maíz blanco			X				X		2
7. Mazamorra			X	X			X	X	4
8. Cauncharina				X				X	2
9. Envueltos de Maíz pelado				X				X	2
TOTAL									28
¹ MTB: maíz tierno blanco ² MTA: maíz tierno amarillo ³ MSB: maíz seco blanco ⁴ MSA: maíz seco amarillo									

Para seleccionar las preparaciones, se debía cumplir con los siguientes criterios: el maíz debía ser el ingrediente en mayor proporción y debía ser la única fuente de proteína en la formulación o receta utilizada; la receta debía conducir a un alimento de fácil preparación, y la frecuencia y cantidad de consumo de acuerdo con la mayor rotación y aceptabilidad del alimento.

Finalmente, se observó en campo para la preparación de los alimentos, empleando las recetas o formulaciones seleccionadas.

2.3. FASE III. APLICACIÓN DE FORMULACIONES PARA LA PREPARACIÓN DE ALIMENTOS.

Se hicieron ensayos sobre la elaboración de alimentos a partir de las diferentes recetas o formulaciones y se definieron los procedimientos para cada formulación.

Se aplicaron los procedimientos para la elaboración de los alimentos y medición de las variables en cada uno de estos.

Las preparaciones se realizaron en el laboratorio de CLAYUCA en el CIAT. En el cuadro 10 se puede observar el lugar de origen de cada tipo de maíz empleado.

Cuadro 10. Lugar de origen del maíz QPM y el maíz normal, empleados como materia prima.

Tipo de Maíz	Lugar de origen
Maíz tierno QPM blanco	CIAT
Maíz tierno común blanco	Centro comercial
Maíz tierno QPM amarillo	CIAT
Maíz tierno común amarillo	CIAT
Maíz seco QPM blanco	CIAT
Maíz seco común blanco	ICA
Maíz seco QPM amarillo	CIAT
Maíz seco normal amarillo	Centro comercial

2.3.1. Preparación de alimentos con maíz seco. Se seleccionaron seis formulaciones para elaborar alimentos con maíz seco. Cada alimento se preparó con maíz normal y con maíz QPM. Dependiendo de la formulación, se empleó maíz amarillo o maíz blanco como se muestra en las figuras 10 y 11, respectivamente.

2.3.2. Preparación de alimentos con maíz tierno. Se seleccionaron cuatro alimentos para ser preparados con maíz tierno. Cada alimento se preparó con maíz normal y con maíz QPM. Ya que las formulaciones lo permitían, cada receta se preparó tanto con maíz amarillo y con maíz blanco, como se muestra en la figura 12.

Figura 10. Preparación de alimentos con maíz seco blanco.

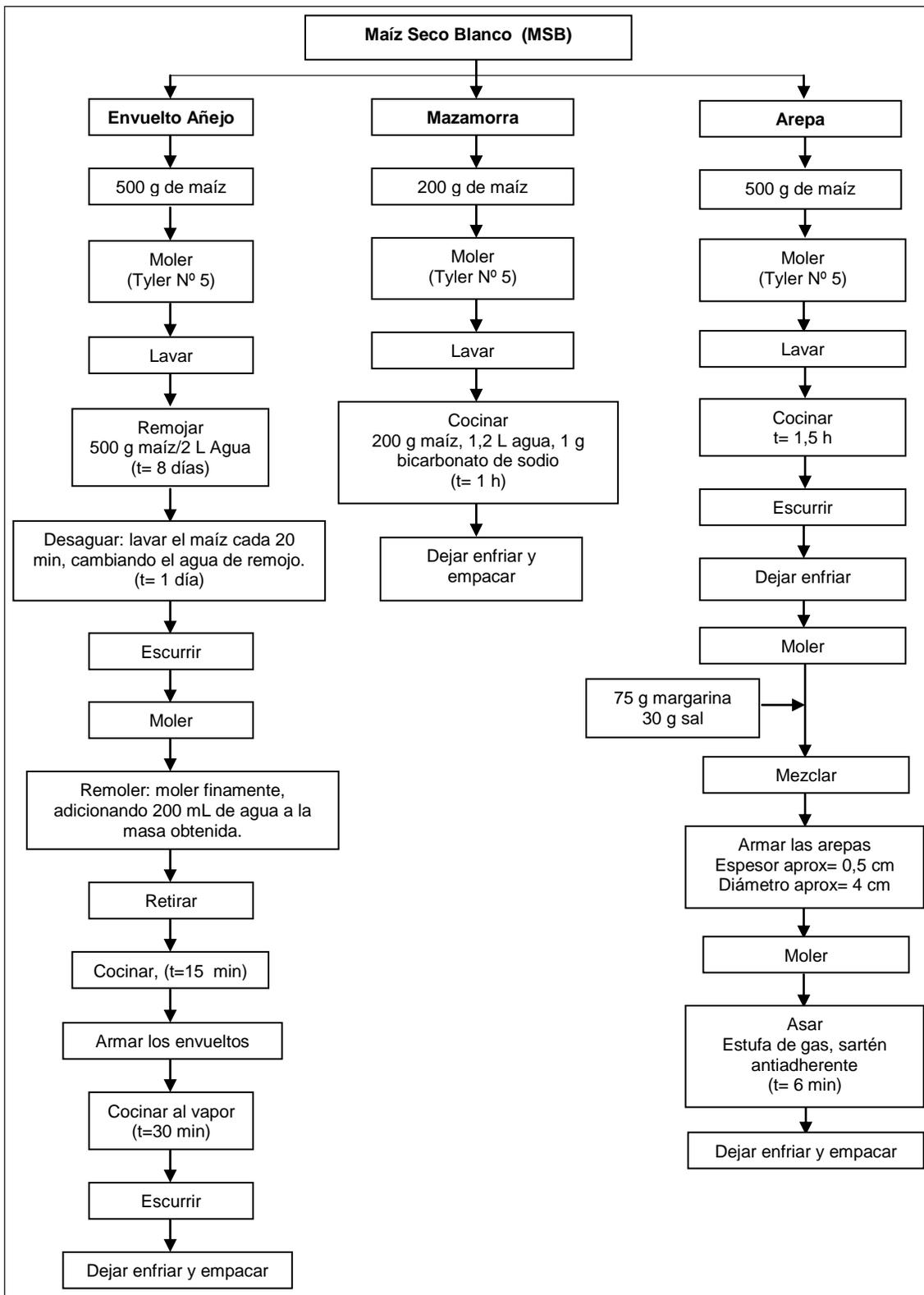


Figura 11. Preparación de alimentos con maíz seco amarillo.

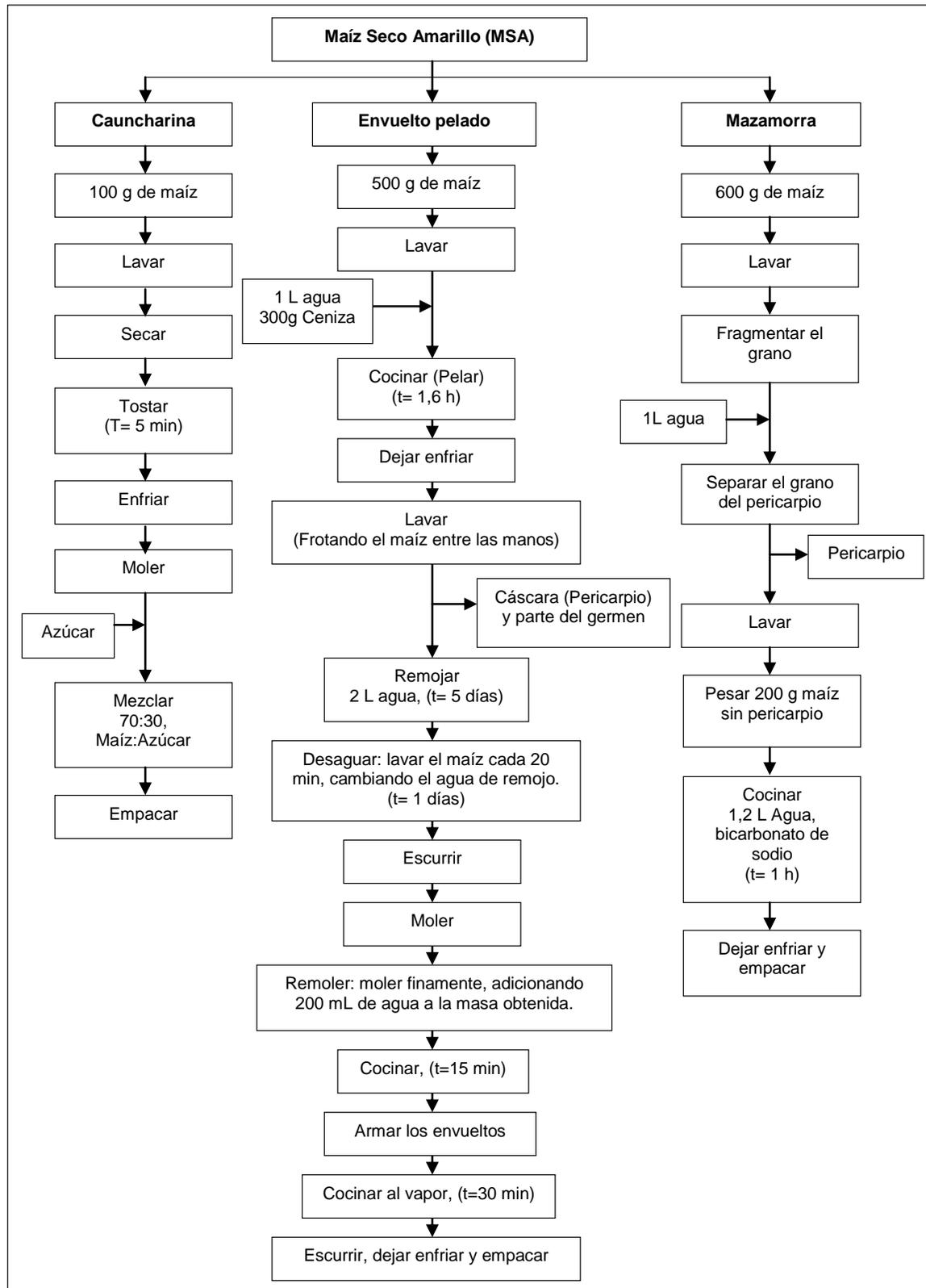
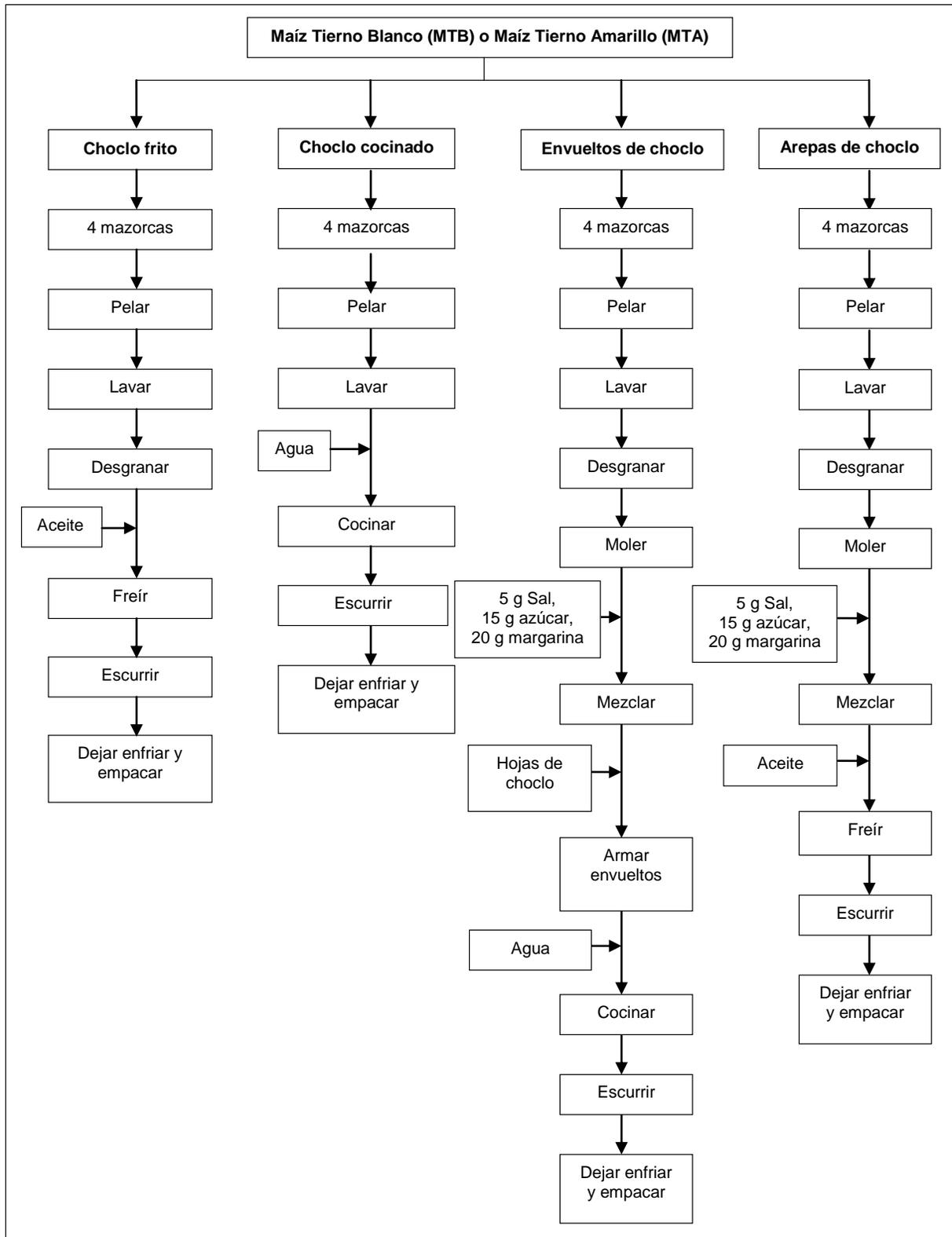


Figura 12. Preparación de alimentos con maíz tierno blanco o maíz tierno amarillo.



2.4. FASE IV. EVALUACIÓN DE VARIABLES EN LOS ALIMENTOS PREPARADOS BAJO DIFERENTES FORMULACIONES

Los alimentos preparados fueron tratados de la misma manera para realizar el respectivo análisis. Fueron liofilizados, molidos y desengrasados. Posteriormente, se hicieron los respectivos análisis de cuantificación de triptófano y proteína soluble. Se evaluó la cantidad de nitrógeno de cada muestra y finalmente se realizó el análisis de digestibilidad de proteína por un método “*in vitro*”.

2.4.1. Liofilización. Cada muestra fue llevada al Laboratorio de Calidad Nutricional en el CIAT, se pesó y se colocó en un ultrafreezer (Thermo Electron Corporation, Asheville, Carolina del Norte, EEUU). Al día siguiente, se llevó a un liofilizador (Labconco Corporation, Missouri, EEUU) para remover la humedad de la muestra. El proceso de liofilización tuvo una duración de cuatro días en promedio. Cuando la muestra ya estaba totalmente seca, se sacó del liofilizador y se pesó para obtener la materia seca.

2.4.2. Molienda. Para evitar contaminación, cada muestra se molió en un molino de bolas de circonio elaborado artesanalmente. Para esto, se tomó una pequeña cantidad de la muestra y se colocó en las cámaras correspondientes; en cada cámara se colocó un balín de circonio como se muestra en la figura 13. Posteriormente se molieron durante ocho minutos y se colocó la muestra molida en un recipiente plástico. Se repitió hasta completar la totalidad de la muestra.

Figura 13. Molienda en molino artesanal de bolas de circonio.



2.4.3. Extracción de materia grasa. Se empleó el método 920.39 AOAC⁶⁸, empleando hexano grado técnico como solvente de extracción.

2.4.4. Medición de Nitrógeno (N). Se empleó el método 960.52 AOAC⁶⁸. Para la conversión del porcentaje de nitrógeno a proteína se usó el factor de 6,25.

2.4.5. Cuantificación de Triptófano. Se utilizó el método colorimétrico de Villegas et al.⁶⁹ 1992, modificado por Nurit, et al.⁷⁰ 2009. Aunque el maíz QPM se biofortifica en lisina y triptófano, sólo se cuantificó el aminoácido triptófano, pues se ha encontrado una alta correlación entre el contenido de triptófano y lisina en el grano de maíz⁷¹.

2.4.6. Cuantificación de proteína soluble. Se empleó el método de Lowry, et al.⁷² 1951, con algunas modificaciones. Se tomó 0,1 g de muestra liofilizada, se adicionó 20 mL de NaOH 1M y se homogenizó (IKA T18, Staufen, Alemania). Se colocó 0,385 mL del sobrenadante en tubos de 1,5 mL, se adicionó 0,538 mL de solución Lowry (solución A:B:C, 100:1:1; solución A: 0,572 g NaOH, 2,862 g Na₂CO₃, en 100 mL de agua; solución B: 1,4232 g CuSO₄, en 100 mL de agua; solución C: 2.853 g tartrato de sodio dihidratado, en 100 mL de agua). Se homogenizó y se llevó a oscuridad durante 20 min. Luego se adicionó 0,077 mL de reactivo de Folin (RF) (55.5:45.5 H₂O:RF), se homogenizó y se dejó 30 min a oscuridad. Posteriormente, se colocó 0,3 mL de la mezcla en un microplato de 96 pozos (Corning Incorporated, Corning, Nueva York, EEUU), y se llevó al espectrofotómetro (µQuant, Biotek Instruments, Vermont, EEUU) realizando lectura a una absorbancia de 750 nm.

2.4.7. Determinación de digestibilidad “in vitro” de proteína: Se empleó el método multienzimático de Hsu et al.⁷³ 1977, modificado por McDonough et al.⁷⁴ 1990. El porcentaje de digestibilidad de proteína (%DP) se calculó empleando la fórmula: %DP=210,46-18,10X, donde X=pH, 10 min después de iniciada la reacción.

⁶⁸ ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th. Ed. Pub. By AOAC, Washington, DC. 1990.

⁶⁹ VILLEGAS, A; VASAL, S.K. y BJARNASON, M. Quality protein maize: What is it and how was it Developed. In Mertz ET (Ed). Quality protein maize. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota. 1992, p. 27-48

⁷⁰ NURIT, Eric, et al. Reliable and inexpensive colorimetric method for determining protein-bound tryptophan in maize kernels. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2009, vol. 57, p. 7233-8.

⁷¹ VIVEK, B.S. et al. Op. Cit., p. 13.

⁷² LOWRY, Oliver, et al. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent. Journal of Biological Chemistry. 1951, vol. 193, p. 265-275.

⁷³ HSU, H.W. et al. Multienzyme technique for estimating protein digestibility. Journal of Food Science. 1977, vol. 42, no. 3, p. 1269-1273.

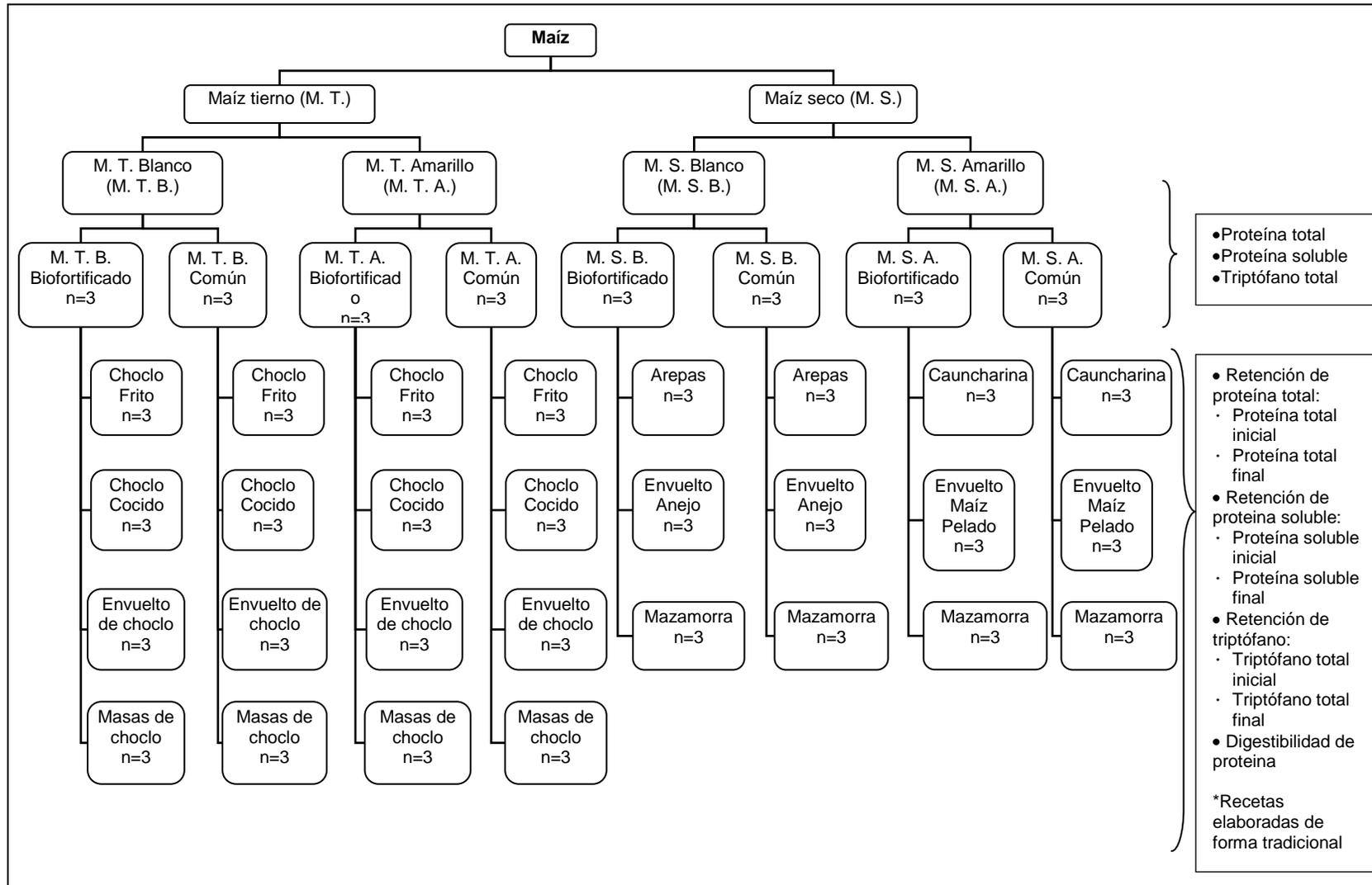
⁷⁴ McDONOUGH Frank E., et al. In vitro assay for protein digestibility: Interlaboratory study. Journal Association of Official Analytical Chemists. 1990, vol. 73, no. 4, p. 622-5.

2.5. FASE V. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

2.5.1. Diseño experimental. En la figura catorce se puede observar el diseño experimental empleado en el estudio.

2.5.2. Análisis estadístico. El análisis estadístico se realizó empleando el software Stata, versión 9 (StataCorp, College Station, Texas, EEUU). Se compararon los datos de maíz QPM con maíz común. Los datos de proteína presentaron una distribución normal y por lo tanto, se hizo un análisis paramétrico (t de student, con un nivel de significancia del 95% y 4 grados de libertad) para analizar los datos. Los datos de triptófano, proteína soluble y digestibilidad "*in vitro*" de proteína y no presentaron una distribución paramétrica; por lo tanto, se aplicó un análisis no-paramétrico (Wilcoxon rank-sum test, con un nivel de significancia del 95%) para comparar los valores entre maíz QPM y maíz común.

Figura 14. Diseño experimental.



3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. CUANTIFICACIÓN DE PROTEÍNA.

El contenido de proteína en el maíz puede variar entre 7,2 y 9,4%⁷⁵. En los maíces analizados, se encontró que este estuvo entre 7,47% y 9,94% para los granos secos enteros, empleando un factor de conversión de 6,25 (Cuadro 11). Sin embargo, la concentración de proteína en los granos tiernos enteros fue un poco más elevada (10,31 a 16,17%), diferente a lo encontrado por Ingle, Beitz y Hageman⁷⁶ en 1965, quienes investigaron los cambios en la composición durante el desarrollo y la maduración del maíz, y encontraron que con el proceso de maduración, disminuye la concentración de nitrógeno, elemento base para la cuantificación de proteína.

Cuadro 11. Contenido de proteína total (g de proteína/kg de producto seco, humedad 1%) presente en los granos enteros de maíz seco y tierno, común y QPM, (n=3).

Tipo de Maíz	Proteína Total		
	Común	QPM ¹	
	Proteína ²	Proteína ²	P ⁴
	g/kg ³	g/kg ³	
Maíz seco amarillo	74,750±3,036	77,500±2,058	0,2639
Maíz seco blanco	99,438±1,276	81,917±0,416	P<0,05
Maíz tierno amarillo	103,056±1,020	117,250±2,219	P<0,05
Maíz tierno blanco	135,438±4,440	161,729±23,040	0,1243
¹ Quality Protein Maize ² Factor: 6,25 ³ g de proteína/kg de producto seco ⁴ Valor P según análisis estadístico			

Como se observa en el cuadro 11, se encontró diferencia en el contenido de proteína en el maíz seco blanco y en el maíz tierno amarillo. Para el primero, el mayor contenido se encontró en el maíz común, mientras que en el segundo fue mayor el QPM. Entretanto, los maíces seco amarillo y tierno blanco no presentaron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de proteína entre maíz QPM y maíz común.

⁷⁵ BADUI DERGAL, Salvador. Op. cit., p. 223.

⁷⁶ INGLE, John; BEITZ, D. y HAGEMAN, R.H. Changes in composition during development and maturation of maize seeds. Plant Physiology. 1965, vol. 40, no. 5, p. 835-9.

3.1.1. Maíz seco amarillo. En los pasos intermedios, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de proteína en el maíz pelado y el maíz remojado, pasos necesarios para la elaboración de envuelto pelado, siendo mayor el maíz común para el primero y el QPM para el segundo (Cuadro 12); los pasos intermedios de las demás preparaciones no presentaron diferencias entre ambos maíces.

Cuadro 12. Contenido de proteína total (g de proteína/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco amarillo común y con maíz seco amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

PREPARACIÓN	PASO	PROTEÍNA TOTAL				P ⁶
		COMÚN		QPM ¹		
		PROTEÍNA ² g/kg ³	PÉRDIDA ⁴ % ⁵	PROTEÍNA ² g/kg ³	PÉRDIDA ⁴ % ⁵	
Maíz entero	1	74,750±3,036		77,500±2,058		0,2639
Mazamorra						
Maíz trillado	2	61,229±3,424	18,088	64,058±0,436	17,344	0,2288
Mazamorra	3	65,854±4,163	11,901	62,212±1,114	19,727	0,2752
Envuelto pelado						
Maíz pelado	2	81,056±1,977	-8,437	71,792±1,769	7,366	P≤0,05
Maíz remojado	3	73,103±1,272	2,203	80,925±2,708	-4,420	P≤0,05
Masa	4	68,873±1,204	7,863	70,649±0,978	8,841	0,1184
Envuelto pelado	5	68,355±1,475	8,555	71,045±1,258	8,329	0,0741
Caucharina	2	49,938±0,225	33,194	52,321±0,501	32,489	P≤0,05

¹ Quality Protein Maize
² Factor: 6,25
³ g de proteína por kg de producto
⁴ Pérdida de proteína total durante el procesamiento
⁵ Porcentaje de pérdida de proteína total
⁶ Valor P según análisis estadístico

En cuanto a las preparaciones finales, la caucharina QPM presentó mayor concentración de proteína que la elaborada con maíz común, mientras que en las otras preparaciones no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre maíz común y QPM.

Durante la cocción, los nutrientes pueden perderse de dos formas, por degradación o por lixiviación. Los aminoácidos pueden lixivarse o reaccionar con los azúcares y formar compuestos. El porcentaje de pérdida depende de la temperatura y del tipo de cocción⁷⁷. El proceso de tostado da lugar a pérdidas nutricionales relacionadas con las proteínas⁷⁸; en este estudio aunque los maíces enteros presentaron similar contenido de proteína, al elaborar la cauncharina se observó diferencia entre los dos maíces, encontrándose mayor concentración de proteína en la elaborada con maíz QPM. Esto puede deberse a la protección que ejerce el pericarpio en los componentes nutritivos del grano, de manera que haya funcionado como barrera protectora en los granos del maíz QPM, permitiendo que las proteínas fueran menos afectadas por el calor al que fueron sometidas durante el proceso.

Mientras tanto, en la elaboración de envuelto pelado y mazamorra de maíz amarillo tanto común como QPM, se observaron pérdidas con el procesamiento, pero en el producto final no se encontró diferencia en la concentración de proteína entre maíz común y QPM.

Como se observa en el cuadro 12, el maíz presenta pérdidas de proteína total con los diferentes tipos de cocción, siendo menores en el proceso de nixtamalización o cocción con cal, seguido por la cocción con agua y teniendo mayores pérdidas en el proceso de tueste.

Chávez en 1972⁷⁹, realizó un estudio comparativo entre una variedad de color amarillo de maíz opaco-2 (precursor del QPM) y maíz común; él encontró que el grano entero del maíz opaco-2 presentaba mayor contenido de proteína que el maíz común y que al elaborar arepas con este maíz, se conservaba esta tendencia superior en el grano del QPM. Mientras tanto, Mendoza-Elos *et al.*⁸⁰ no encontraron diferencias en la concentración de proteína entre el maíz común y el QPM en su estudio realizado en 2006, en el cual pretendieron cuantificar la lisina y el triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal, en la cual también midieron humedad, grasa, proteína, ceniza y carbohidratos.

⁷⁷ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Raíces, tubérculos, plátanos y bananos en la nutrición humana. [En línea]. 1991, p. 81. Disponible en internet: <http://books.google.com/books?id=gyB_liUUS0C&pg=PA81&dq=perdida+de+proteina+calor+coccion&hl=es&ei=nBKRTZP3OIqFtgso7RT&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CDcQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false>. [Consultado marzo 24 de 2011].

⁷⁸ GIL, Ángel. Tratado de Nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. [En línea]. 2010, Ed, 2. Madrid: Medica panamericana., p. 536. Disponible en internet: <http://books.google.com/books?id=hcwBJ0FNvqYC&pg=PT560&dq=fritura+perdida+proteina&hl=es&ei=WfyRTf77HIG3twfOmfB1&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCgQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false>. [Consultado Marzo 24 de 2011].

⁷⁹ CHÁVEZ J.F. Op. cit., p. 147-60.

⁸⁰ MENDOZA-ELOS M., *et al.* Op. cit., p. 153-61.

3.1.2. Maíz Seco Blanco. En los pasos intermedios durante la elaboración de preparaciones con maíz seco blanco, se conservó la diferencia presentada en los maíces enteros (cuadro 13) a favor del maíz común, a excepción de la masa para arepas con sal y margarina, en la cual no se observó diferencia entre maíz común y QPM. Así mismo, en las preparaciones finales, se observa el mismo comportamiento encontrado en los maíces enteros, presentándose mayor concentración de proteína en las preparaciones elaboradas con maíz común.

En el cuadro 13 también puede observarse que durante la elaboración de las diferentes preparaciones, se presentaron pérdidas en la concentración de proteína. Estas pérdidas son menores en el maíz común, lo cual indica que el maíz QPM se ve más afectado durante los procesos de cocción. El proceso que más afecta el contenido de proteína es la elaboración de envuelto añejo, el cual conlleva un proceso de remojo (fermentación) del maíz, y el cual puede ser el factor que haga que haya mayor pérdida de nitrógeno y por lo tanto de proteína.

Cuadro 13. Contenido de proteína total (g de proteína/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco blanco común y con maíz seco blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

PREPARACIÓN	PASO	PROTEÍNA TOTAL				P ⁶
		COMÚN		QPM ¹		
		PROTEÍNA ² g/kg ³	PERDIDA ⁴ % ⁵	PROTEÍNA ² g/kg ³	PERDIDA ⁴ % ⁵	
Maíz entero	1	99,438±1,276		81,917±0,416		P≤0,05
Maíz trillado	2	89,271±1,196	10,224	72,646±0,219	11,317	P≤0,05
Mazamorra	3	90,327±3,264	9,162	69,896±0,813	14,674	P≤0,05
Envuelto Anejo						
Masa para envueltos blancos	3	84,948±1,846	14,571	59,070±1,571	27,890	P≤0,05
Envuelto añejo	4	83,201±1,157	16,328	57,837±0,794	29,396	P≤0,05
Arepa						
Maíz cocinado	3	103,270±4,214	-3,855	73,679±0,961	10,056	P≤0,05
Masa sin sal y margarina	4	95,114±0,467	4,348	75,092±2,310	8,332	P≤0,05
Masa con sal y margarina	5	32,944±4,814	66,870	66,895±2,671	18,338	0,2954
Arepa	6	92,098±2,870	7,381	66,713±1,723	18,561	P≤0,05

¹ Quality Protein Maize
² Factor: 6,25
³ gramo de proteína por kg de producto
⁴ Pérdida de proteína total durante el procesamiento
⁵ Porcentaje de pérdida de proteína total
⁶ Valor P según análisis estadístico

A diferencia de este estudio, Mendoza-Elos y colaboradores⁸¹, no encontraron diferencias en la concentración de proteína entre el maíz común y el QPM. Por otra parte, Ortega, Villegas y Vasal⁸², no reportaron pérdidas durante la elaboración de tortillas, y en cambio reportaron un incremento en la concentración de proteína durante el proceso de elaboración.

3.1.3. Maíz tierno amarillo. Como se observa en el cuadro 14, durante la elaboración de las preparaciones de maíz tierno amarillo, se conservó la diferencia a favor del maíz QPM presentada en los granos enteros. En las preparaciones finales se observó el mismo comportamiento, con la excepción del choclo cocido, en el cual no se presentó diferencia estadísticamente significativa entre maíz común y QPM.

Cuadro 14. Contenido de proteína total (g de proteína/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno amarillo común y con maíz tierno amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

PREPARACIÓN	PASO	PROTEÍNA TOTAL				P ⁶
		COMÚN		QPM ¹		
		PROTEÍNA ² g/kg ³	PÉRDIDA ⁴ % ⁵	PROTEÍNA ² g/kg ³	PÉRDIDA ⁴ % ⁵	
Choclo entero	1	103,056+1,020		117,250+2,219		P≤0,05
Choclo cocido	2	109,479+0,501	---	109,313+4,054	6,770	0,9470
Choclo frito	2	75,921+3.908	26,330	108,875+1,681	7,143	P≤0,05
Envuelto choclo						
Masa para envueltos de choclo	2	83,971+0,680	18,519	111,917+2,380	4,549	P≤0,05
Envuelto choclo	3	83,518+2,383	18,958	112,583+2,107	3,980	P≤0,05
Arepa de choclo						
Masa para envueltos de choclo	2	83,971+0,680	18,519	111,917+2,380	4,549	P≤0,05
Arepa de choclo	3	86,313+0,813	16,247	110,229+1,287	5,988	P≤0,05

¹ Quality Protein Maize
² Factor: 6,25
³ gramo de proteína por kg de producto
⁴ Pérdida de proteína total durante el procesamiento
⁵ Porcentaje de pérdida de proteína total
⁶ Valor P según análisis estadístico

⁸¹ MENDOZA-ELOS M., *et al.* Op. cit., p. 153-61
⁸² ORTEGA, E; VILLEGAS, E y VASAL S. Op. cit., p. 446-51.

Las pérdidas durante el procesamiento fueron mayores en las preparaciones de maíz tierno común, exceptuando el choclo cocido, en el cual sólo se presentó pérdida en el maíz QPM. Así mismo, el maíz común se vio más afectado con los procesos de cocción que el maíz QPM, siendo la fritura el proceso en el que más se observó pérdida de proteína total. La fritura es un tratamiento que puede presentar un efecto negativo sobre las proteínas de los alimentos, pudiéndose presentar pérdidas moderadas de su valor nutritivo debido a reacciones de Maillard⁸³. Además durante este tratamiento se alcanzan temperaturas mayores que las alcanzadas en otros procesos de cocción (150 – 200 °C)⁸⁴, lo cual puede hacer que se llegue a la degradación de las mismas.

3.1.4. Maíz tierno blanco. Como se observa en el cuadro 15, aunque en el choclo entero blanco no se presentó diferencia de proteína entre maíz QPM y maíz común, en los pasos intermedios y las recetas finales sí se observó diferencia entre ambos maíces, siendo mayor la concentración de proteína en las recetas de maíz común, a excepción del choclo frito, en el cual fue mayor el maíz QPM.

La pérdida de proteína total fue mayor en las preparaciones de maíz QPM, encontrándose pérdidas entre 15 y 32%, mientras que en el maíz común se observaron pérdidas entre 7 y 10%. El proceso en el que más se observó pérdida de proteína total para los dos maíces es en la fritura, operación necesaria para obtener la arepa de choclo.

3.2. CUANTIFICACIÓN DE TRIPTÓFANO

Como se observa en el cuadro 16, se encontró diferencia en la concentración de triptófano entre el maíz QPM entero y el maíz común entero, siendo mayor el maíz QPM tanto seco como tierno, a excepción del maíz tierno blanco en el cual no se encontró diferencia entre los dos maíces. Los resultados de este estudio coinciden con lo reportado por Chávez⁸⁵ en 1972, quien encontró que el maíz entero opaco-2 presentaba mayor contenido de triptófano que el maíz entero corriente empleado en su estudio; sin embargo, Chávez reportó valores de triptófano mayores para el maíz QPM y menores para el maíz común a los reportados en este estudio.

⁸³ GIL, Ángel. Tratado de Nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. [En línea]. 2010, Ed. 2. Madrid: Medica panamericana. p. 533. Disponible en internet: <http://books.google.com/books?id=hcwBJ0FNvqYC&pg=PT560&dq=fritura+perdida+proteina&hl=es&ei=WfyRTf77HIG3twfOmfB1&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCgQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false>.
[Consultado Marzo 24 de 2011].

⁸⁴ VÉLEZ J.F. y HERNÁNDEZ J.X. Proceso de fritura de alimentos. Una revisión. En: VALDERRAMA, José O. Información Tecnológica. [En Línea]. 1999, vol 10, no 2, p. 129. Disponible en internet: <http://books.google.com/books?id=Z0fUgdnVHdgC&pg=PA129&dq=temperatura+freir+fritura+aceite&hl=es&ei=TmWOTcGeBMmCtgfazoizDQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CC0Q6AEwAQ#v=onepage&q=temperatura%20freir%20fritura%20aceite&f=false>. [Consultado Marzo 24 de 2011].

⁸⁵ CHÁVEZ J.F. Op. cit., p. 147-60.

Cuadro 15. Contenido de proteína total (g de proteína/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno blanco común y con maíz tierno blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

PREPARACIÓN	PASO	PROTEÍNA TOTAL				P
		COMÚN		QPM ¹		
		PROTEÍNA ² g/kg ³	PERDIDA ⁴ % ⁵	PROTEÍNA ² g/kg ³	PERDIDA ⁴ % ⁵	
Choclo entero	1	135,438+4,440		161,729+23,040		0,1243
Choclo cocido	2	122,813+0,451	9,322	114,438+3,142	29,241	P≤0,05
Choclo frito	2	124,792+1,979	7,860	137,021+5,246	15,278	P≤0,05
Envuelto choclo						
Masa para envueltos de choclo	2	121,729+0,191	10,122	116,063+2,374	28,237	P≤0,05
Envuelto choclo	3	122,625+0,925	9,460	113,271+4,598	29,963	P≤0,05
Arepa de choclo						
Masa para envueltos de choclo	2	121,729+0,191	10,122	116,063+2,374	28,237	P≤0,05
Arepa de choclo	3	122,292+2,115	9,706	109,104+0,969	32,539	P≤0,05

¹ Quality Protein Maize
² Factor: 6,25
³ gramo de proteína por kg de producto
⁴ Pérdida de proteína total durante el procesamiento
⁵ Porcentaje de pérdida de proteína total
⁶ Valor P según análisis estadístico

Cuadro 16. Contenido de Triptófano (g de triptófano/100 g de producto seco, humedad 1%) presente en los grano enteros de maíz seco y tierno, amarillo y blanco, común y QPM, (n=3).

TIPO DE MAÍZ	TRIPTÓFANO				P ⁴
	COMÚN		QPM ¹		
	% ²	mg/g ³	% ²	mg/g ³	
Maíz seco amarillo	0,047±0,004	6,243	0,078±0,007	10,022	P≤0,05
Maíz seco blanco	0,046±0,001	4,626	0,077±0,001	9,400	P≤0,05
Maíz tierno amarillo	0,061±0,011	5,887	0,104±0,013	8,870	P≤0,05
Maíz tierno blanco	0,090±0,019	6,670	0,110±0,005	6,802	P=0,28

¹ Quality Protein Maize
² g de triptófano/100 g de muestra seca
³ mg de triptófano/g proteína
⁴ Valor P según análisis estadístico

Ortega, Villegas y Vasal⁸⁶ en 1986, realizaron un estudio de comparación sobre los cambios de proteína en el maíz normal y el maíz QPM durante la elaboración de la tortilla y encontraron que el maíz entero QPM presentó mayor concentración de triptófano que el maíz normal, similar a lo sucedido en este estudio. De la misma manera, Mendoza-Elos *et al.*⁸⁷ en 2006 y Serna-Saldívar *et al.*⁸⁸ en 2008, reportaron resultados similares en sus estudios.

Los valores de triptófano reportados para maíz QPM son mayores que los encontrados por Mendoza-Elos *et al.*⁸⁷ en 2006; sin embargo, para el maíz común se encontraron valores similares. Lo mismo se observó al comparar con los resultados reportados por Serna-Saldívar *et al.*⁸⁸ en 2008.

Las proteínas del maíz se ven afectadas con la maduración, disminuyendo las glutelinas, proteínas solubles en soluciones ácidas y alcalinas; de esta manera, disminuyen la lisina, la metionina y el triptófano⁸⁹. Con este estudio, se puede comprobar esta afirmación, ya que la concentración de triptófano del maíz QPM empleado es mayor en el grano tierno que en el grano seco, tanto para maíz amarillo como blanco.

3.2.1. Maíz seco amarillo. Todas las preparaciones y los pasos intermedios de elaboración de maíz QPM presentaron mayor concentración de triptófano que los de maíz común (Cuadro 17).

Al elaborar las preparaciones tanto con maíz QPM como con maíz común, se observó pérdida del aminoácido, al igual que sucedió en el estudio de Chávez en 1972 durante la elaboración de arepa de maíz amarillo opaco-2, precursor del QPM.

Las pérdidas del aminoácido en las preparaciones estuvieron entre el 64 y 85% para maíz QPM y entre 74 y cerca del 100% para maíz común; esta última concentración de triptófano correspondiente a la mazamorra fue tan baja que no se pudo detectar por el método empleado.

3.2.2. Maíz seco blanco. Como se observa en el cuadro 18, durante la elaboración de las diferentes preparaciones de maíz seco blanco, se encontró que los pasos intermedios de elaboración de la mazamorra y el envuelto añejo presentaron diferencia entre maíz

⁸⁶ ORTEGA, E; VILLEGAS, E y VASAL S. Op. cit., p. 446-51.

⁸⁷ MENDOZA-ELOS M., *et al.* Op. cit., p. 153-61.

⁸⁸ SERNA-SALDIVAR S.O., *et al.* Evaluation of the lime-cooking and tortilla making properties of quality protein maize hybrids grown in Mexico. Op. cit., p. 119-25.

⁸⁹ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. EL maíz en la nutrición humana. [En línea]. 1993. [Consultado noviembre 12 de 2010]. Disponible en internet: <<http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S0-3.htm>>.

QPM y maíz común, siendo mayores los QPM, mientras que en los pasos de la arepa sólo se encontró diferencia en la masa con margarina y sal a favor del QPM.

Cuadro 17. Contenido de Triptófano (g de triptófano/100 g de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco amarillo común y con maíz seco amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

PREPARACIÓN	PASO	TRIPTÓFANO						P ⁵
		COMÚN			QPM ¹			
		% ²	mg/g ³	Pd ⁴	% ²	mg/g ³	Pd ⁴	
Maíz entero	1	0,047±0,004	6,243		0,078±0,007	10,022		P≤0,05
Mazamorra								
Maíz trillado	2	0,001±0,001	2,776	64	0,045±0,009	7,077	42	P≤0,05
Mazamorra	3	ND		~100	0,012±0,001	1,875	85	
Envuelto pelado								
Maíz pelado	2	0,012±0,002	1,522	74	0,017±0,001	2,368	78	P≤0,05
Maíz remojado	3	0,012±0,002	1,642	74	0,028±0,000	3,460	64	P≤0,05
Masa	4	0,012±0,000	1,742	74	0,038±0,001	5,332	52	P≤0,05
Envuelto pelado	5	0,011±0,001	1,658	76	0,028±0,000	3,941	64	P≤0,05
Caucharina	2	0,012±0,001	2,470	74	0,021±0,002	3,950	73	P≤0,05

¹ Quality Protein Maize
² g de triptófano/100 g de muestra seca
³ mg de triptófano/g proteína
⁴ % de pérdida de triptófano con respecto al maíz entero
⁵ Valor P según análisis estadístico

En cuanto a las preparaciones, sólo se encontró diferencia entre maíz QPM y maíz común en el envuelto añejo, mientras tanto en las otras preparaciones no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los maíces empleados.

Al elaborar las diferentes preparaciones, la diferencia en la concentración de triptófano presentada en los maíces enteros entre maíz QPM y maíz común fue conservada en los pasos intermedios de dos de las tres preparaciones, así como sucedió en el estudio de Ortega, Villegas y Vasal⁹⁰ en 1986, en el cual durante la elaboración de la tortilla se conservó la diferencia en el contenido de triptófano presentada en los granos enteros entre maíz QPM y maíz común. Estos investigadores también encontraron que durante el procesamiento hay pérdidas del aminoácido al igual que lo encontrado en este estudio. La estabilidad del triptófano libre o ligado a las proteínas durante el procesado de los

⁹⁰ ORTEGA, E; VILLEGAS, E y VASAL S. Op. cit., p. 446-51.

alimentos puede verse afectada y depende de la temperatura y de la presencia de oxígeno y de otros agentes de peroxidación. Además, tratamientos muy intensos en presencia de aire pueden causar la degradación de este aminoácido⁹¹. Las pérdidas de triptófano en los pasos intermedios estuvieron entre 16 y 56% para maíz QPM y 22 y 56% para maíz común.

Cuadro 18. Contenido de Triptófano (g de triptófano/100 g de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco blanco común y con maíz seco blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

PREPARACIÓN	PASO	TRIPTÓFANO						P ⁵
		COMÚN			QPM ¹			
		% ²	mg/g ³	Pd ⁴	% ²	mg/g ³	Pd ⁴	
Maíz entero	1	0,046±0,001	4,626		0,077±0,001	9,400		P≤0,05
Maíz trillado	2	0,048±0,001	5,414	---	0,065±0,004	8,948	16	P≤0,05
Mazamorra	3	0,011±0,002	1,255	75	0,012±0,001	1,765	84	P=0,50
Envuelto añejo								
Masa	3	0,021±0,002	2,511	56	0,028±0,001	4,797	56	P≤0,05
Envuelto añejo	4	0,014±0,001	1,643	70	0,024±0,001	4,092	69	P≤0,05
Arepa								
Maíz cocinado	3	0,035±0,001	3,421	23	0,035±0,005	4,705	55	P=0,82
Masa sin margarina y sal	4	0,036±0,001	3,750	22	0,036±0,002	4,794	47	P=0,81
Masa con margarina y sal	5	0,031±0,001	9,309	33	0,036±0,001	5,431	47	P≤0,05
Arepa	6	0,027±0,001	2,968	41	0,027±0,001	4,097	35	P=0,81

¹ Quality Protein Maize
² g de triptófano/100 g de muestra seca
³ mg de triptófano/g proteína
⁴ % de pérdida de triptófano con respecto al maíz entero
⁵ Valor P según análisis estadístico

La concentración de triptófano fue mayor en el envuelto añejo de maíz QPM en comparación con el elaborado con maíz común; en las otras dos preparaciones no se encontró diferencia entre maíz común y maíz QPM. Ortega, Villegas y Vasal⁹² en 1986, también reportaron esta diferencia, al elaborar la tortilla de maíz, aunque este producto

⁹¹ GIL, Ángel. Tratado de Nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. [En línea]. 2010, Ed. 2. Madrid: Medica panamericana. p. 553. Disponible en internet: <http://books.google.com/books?id=hcwBJ0FNvqYC&pg=PT560&dq=fritura+perdida+proteina&hl=es&ei=WfyRTf77HIG3twfOmfB1&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCgQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false>.
[Consultado Marzo 24 de 2011].

⁹² ORTEGA, E; VILLEGAS, E y VASAL S. Op. cit., p. 446-51.

llevaba un proceso de elaboración diferente al de las preparaciones elaboradas en este estudio.

Las pérdidas de triptófano en los productos finales estuvieron entre 35 y 84% para QPM y entre 41 y 75% para maíz común, siendo la arepa, la preparación con menor pérdida y la mazamorra la de mayor pérdida, para los dos tipos de maíz; durante este proceso de cocción por inmersión en agua, pudo perderse el aminoácido por el tiempo de exposición al calor y a la temperatura de cocción, ya que estos factores pudieron causar cambios en la estructura o degradación del aminoácido.

3.2.3. Maíz tierno Amarillo. La diferencia en la concentración de triptófano observada en el choclo entero amarillo se conservó para los pasos intermedios de las preparaciones elaboradas con este maíz (Cuadro 19).

Cuadro 19. Contenido de Triptófano (g de triptófano/100 g de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno amarillo común y con maíz tierno amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

PREPARACIÓN	PASO	TRIPTÓFANO						P ⁵
		COMÚN			QPM ¹			
		% ²	mg/g ³	Pd ⁴	% ²	mg/g ³	Pd ⁴	
Choclo entero	1	0,061±0,011	5,887		0,104±0,013	8,870		P≤0,05
Choclo cocido	2	0,072±0,001	7,977	---	0,082±0,002	7,532	21	P≤0,05
Choclo frito	2	0,056±0,002	9,044	8	0,107±0,005	9,797	---	P≤0,05
Envuelto choclo								
Masa	2	0,037±0,001	4,446	38	0,107±0,001	9,591	---	P≤0,05
Envuelto choclo	3	0,050±0,020	6,027	17	0,102±0,014	9,030	2	P≤0,05
Arepa de choclo								
Masa	2	0,037±0,001	4,446	38	0,107±0,001	9,591	---	P≤0,05
Arepa de choclo	3	0,049±0,032	5,638	20	0,074±0,002	10,040	29	P=0,51

¹ Quality Protein Maize
² g de triptófano/100 g de muestra seca
³ mg de triptófano/g proteína
⁴ % de pérdida de triptófano con respecto al maíz entero
⁵ Valor P según análisis estadístico

Las pérdidas de triptófano en el maíz tierno amarillo estuvieron entre 0 y 38% para maíz común y entre 0 y 29% para QPM; de esta manera se pudo observar que al igual que en el maíz seco, el triptófano en el maíz tierno también se ve afectado por el procesamiento, aunque en menor proporción.

Las preparaciones elaboradas con maíz tierno QPM, presentaron mayor concentración de triptófano, con excepción de la arepa de choclo, que no presentó diferencia.

3.2.4. Maíz tierno blanco. Aunque el choclo entero no presentó diferencia en la concentración de triptófano entre maíz QPM y maíz común, en los pasos intermedios de elaboración sí se presentó diferencia a favor del maíz QPM (cuadro 20); así mismo, en las preparaciones también se observó que las elaboradas con el choclo QPM presentaron mayor concentración del aminoácido que las elaboradas con el choclo común. Al igual que con los demás maíces empleados, con el maíz tierno blanco también se observó pérdida del aminoácido durante los diferentes procesos de cocción, obteniéndose pérdidas entre 34 y 83% en el maíz común y entre 5 y 26% para el maíz QPM.

Cuadro 20. Contenido de Triptófano (g de triptófano/100 g de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno blanco común y con maíz tierno blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

PREPARACIÓN	PASO	TRIPTÓFANO						P ⁵
		COMÚN			QPM ¹			
		% ²	mg/g ³	Pd ⁴	% ²	mg/g ³	Pd ⁴	
Choclo entero	1	0,090±0,019	6,670		0,110±0,005	6,802		P=0,28
Choclo cocido	2	0,052±0,000	7,328	42	0,104±0,005	9,088	5	P≤0,05
Choclo frito	2	0,016±0,002	1,255	83	0,091±0,007	6,617	18	P≤0,05
Envuelto choclo								
Masa	2	0,051±0,004	4,190	44	0,081±0,003	7,008	26	P≤0,05
Envuelto choclo	3	0,060±0,007	4,866	34	0,097±0,011	8,593	12	P≤0,05
Arepa de choclo								
Masa	2	0,051±0,004	4,190	44	0,081±0,003	7,008	26	P≤0,05
Arepa de choclo	3	0,052±0,002	4,252	42	0,095±0,004	8,707	14	P≤0,05

¹ Quality Protein Maize
² g de triptófano/100 g de producto seco
³ mg de triptófano/g proteína
⁴ % de pérdida de triptófano con respecto al maíz entero
⁵ Valor P según análisis estadístico

Durante la elaboración de las preparaciones se observó que el maíz tierno presentó menores pérdidas del aminoácido que el maíz seco, a excepción del choclo frito de maíz tierno blanco que presentó una pérdida del 83%, siendo esta la preparación con mayor pérdida para los maíces blancos.

3.3. CUANTIFICACIÓN DE PROTEÍNA SOLUBLE

Los maíces enteros amarillos QPM tanto tiernos como secos, presentaron mayor concentración de proteína soluble que sus similares de maíz común, como se observa en el cuadro 21. Mientras tanto, los maíces blancos enteros tanto tierno como seco no presentaron diferencias en la concentración de proteína soluble entre maíz QPM y maíz común.

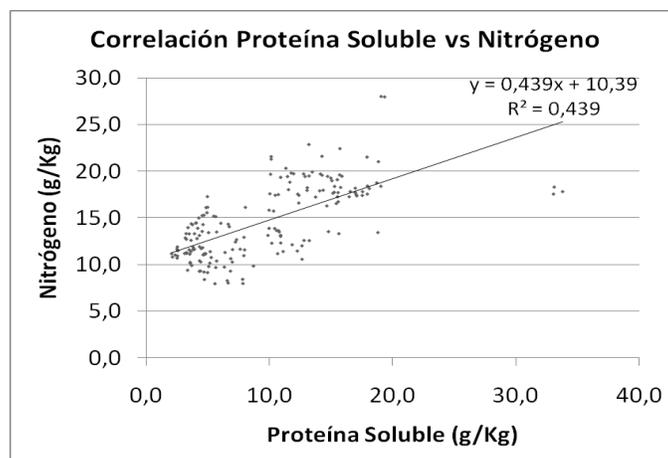
Cuadro 21. Contenido de proteína soluble (g de proteína soluble/Kg de producto seco, humedad 1%) presente en los grano enteros de maíz seco y tierno, amarillo y blanco, común y QPM, (n=3).

TIPO DE MAÍZ	PROTEÍNA SOLUBLE		
	COMÚN	QPM ¹	P ³
	g/kg ²	g/kg ²	
Maíz seco amarillo	11,289±0,489	12,891±0,303	P≤0,05
Maíz seco blanco	9,449±1,233	10,563±0,598	P=0,29
Maíz tierno amarillo	14,157±1,586	17,757±1,953	P≤0,05
Maíz tierno blanco	17,499±1,608	17,563±2,862	P=0,51

¹ Quality Protein Maize
² g de proteína soluble/Kg de producto seco
³ Valor P según análisis estadístico

Como se observa en la figura 15, se encontró que la proteína soluble y el porcentaje de nitrógeno (%N) de las muestras presentan correlación ($r=0,66$, $P<0,001$); esto permite comparar los resultados obtenidos en este estudio para proteína soluble con los de otros autores que han reportado valores para porcentajes de nitrógeno o proteína cruda.

Figura 15. Correlación de proteína soluble y nitrógeno en muestras de preparaciones de maíz.



Al igual que en este estudio para maíz amarillo seco, Chávez⁹³ en 1972 reportó una tendencia de mayor proteína cruda (N*6.25) en los maíces QPM amarillos empleados en su estudio. Mientras tanto, Mendoza-Elos *et al.*⁹⁴ en 2006, no reportaron diferencia en la concentración de proteína entre los maíces amarillos QPM y común empleados en su estudio.

Ortega, Villegas y Vasal⁹⁵ en 1986 no reportaron diferencias en el contenido de proteína en los maíces blancos empleados en su estudio; así mismo, en este estudio tampoco se encontró diferencia en la concentración de proteína soluble entre maíz QPM y maíz común para el maíz seco blanco entero. Similares resultados encontraron Serna-Saldivar *et al.*⁹⁶ en 1987, Mendoza-Elos⁹⁴ en 2006 y Serna-Saldivar *et al.*⁹⁷ en 2008.

3.3.1. Maíz seco amarillo. Como se observa en el cuadro 22, en el maíz trillado que es el paso intermedio para la preparación de mazamorra no se presentó diferencia en la concentración de proteína soluble entre maíz QPM y maíz común. Mientras tanto en los pasos intermedios del envuelto pelado sí se encontró diferencia entre ambos maíces, siendo mayores los QPM.

En cuanto a las preparaciones elaboradas con maíz seco amarillo, la mazamorra elaborada con maíz común presentó mayor concentración de proteína soluble que la elaborada con maíz QPM; en el envuelto pelado se observó que la mayor concentración la presentó el maíz QPM, mientras que en la cauncharina no se observó diferencia en la concentración de proteína soluble entre ambos maíces.

Con el proceso de cocción se presentó pérdida de proteína soluble en todas las preparaciones. Chávez en 1972⁹³ también reportó una tendencia similar para %N en maíz opaco-2. Por ejemplo, reportó pérdida de nitrógeno durante el proceso de trilla, así como sucedió en este estudio, siendo este proceso en el que mayor pérdida de proteína se observó, posiblemente a la remoción del pericarpio y del germen, ya que en este último se encuentran gran parte de las proteínas del maíz⁹⁴.

Sin embargo en la cauncharina, la cual no lleva este proceso, también se observó pérdidas de proteína soluble; esto indica que la proteína soluble se ve afectada por el tratamiento térmico, posiblemente debido a un cambio en la estructura de la proteína que la hace insoluble en el medio alcalino empleado para la extracción.

⁹³ CHÁVEZ J.F. Op. cit., p. 147-60.

⁹⁴ MENDOZA-ELOS M., *et al.* Op. cit., p. 153-61.

⁹⁵ ORTEGA, E; VILLEGAS, E y VASAL S. Op. cit., p. 446-51.

⁹⁶ SERNA-SALDIVAR, S.O., *et al.* Effects of lime cooking on energy and protein digestibilities of maize and sorghum. Op. cit., p. 247-52.

⁹⁷ SERNA-SALDIVAR S.O., *et al.* Evaluation of the lime-cooking and tortilla making properties of quality protein maize hybrids grown in Mexico. Op. cit., p. 119-25.

Cuadro 22. Contenido de proteína soluble (g de proteína soluble/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco amarillo común y con maíz seco amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

PREPARACIÓN	PASO	PROTEÍNA SOLUBLE				P ⁴
		COMÚN		QPM ¹		
		g/kg ²	Pd ³	g/kg ²	Pd ³	
Maíz entero	1	11,289±0,489		12,891±0,303		P≤0,05
Mazamorra						
Maíz trillado	2	6,060±0,670	46	5,517±1,319	57	P=0,51
Mazamorra	3	10,671±1,975	5	4,103±0,835	68	P≤0,05
Envuelto pelado						
Maíz pelado	2	3,214±0,043	72	4,155±0,475	68	P≤0,05
Maíz remojado	3	2,519±0,033	78	4,265±0,723	67	P≤0,05
Masa	4	2,522±0,516	78	4,108±0,934	68	P≤0,05
Envuelto pelado	5	2,359±0,268	79	3,339±0,122	74	P≤0,05
Cauncharina	2	6,684±1,138	41	6,368±1,562	51	P=0,51
¹ Quality Protein Maize ² g de triptófano/100 g de producto seco ³ % de pérdida de proteína soluble con respecto al maíz entero ⁴ Valor P según análisis estadístico						

Las pérdidas de proteína soluble estuvieron entre 5 y 79% para maíz común y 51 y 74% para maíz QPM. Las preparaciones con mayor y menor pérdida fueron envuelto pelado (79%) y mazamorra (5%) para maíz común y envuelto pelado (74%) y cauncharina (51%) para QPM. Como se observa, el envuelto pelado es la preparación que presenta mayor pérdida de proteína soluble para ambos maíces, posiblemente al proceso de pelado del maíz (remoción del pericarpio) que se realizó con ceniza (cocción con cal ó nixtamalizado), ya que este proceso puede afectar la estructura y solubilidad de las proteínas⁹⁸.

3.3.2. Maíz seco blanco. En el cuadro 23 se pueden observar los resultados obtenidos para las preparaciones de maíz seco blanco. Se presentó diferencia en la concentración de proteína soluble en dos de los pasos intermedios de elaboración, el maíz trillado siendo mayor el maíz QPM y el maíz cocinado necesario para la elaboración de arepa, donde fue mayor el maíz común. En los otros pasos intermedios no se presentó diferencia estadísticamente significativa en la concentración de proteína soluble entre ambos

⁹⁸ ORTEGA, E; VILLEGAS, E y VASAL S. Op. cit., p. 446-51.

maíces, similar a lo reportado por Ortega y colaboradores⁹⁹ quienes no reportaron diferencia entre maíz QPM y maíz común en los pasos intermedios de la preparación de su estudio.

Cuadro 23. Contenido de proteína soluble (g de proteína soluble/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco blanco común y con maíz seco blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

PREPARACIÓN	PASO	PROTEÍNA SOLUBLE				
		COMÚN		QPM ²		P ³
		g/kg ⁴	Pd ¹	g/kg	Pd	
Maíz entero	1	9,449±1,233		10,563±0,598		P=0,29
Maíz trillado	2	6,478±0,373	31	7,531±0,493	29	P≤0,05
Mazamorra	3	3,763±0,450	60	5,272±0,975	50	P≤0,05
Envuelto añejo						
Masa	3	4,204±0,313	56	5,008±1,149	53	P=0,28
Envuelto añejo	4	4,498±1,129	52	4,333±0,866	59	P=0,83
Arepa						
Maíz cocinado	3	4,927±0,070	48	4,228±0,403	60	P≤0,05
Masa sin margarina y sal	4	5,258±0,510	44	5,161±1,829	51	P=0,51
Masa con margarina y sal	5	4,424±0,606	53	4,527±0,872	57	P=0,83
Arepa	6	4,199±0,289	56	6,365±1,848	40	P=0,13

¹ Quality Protein Maize
² g de triptófano/100 g de producto seco
³ % de pérdida de proteína soluble con respecto al maíz entero
⁴ Valor P según análisis estadístico

Estos mismos autores reportaron tendencias de pérdida de proteína durante la elaboración de tortillas de maíz; en este estudio se observó pérdida de proteína en la elaboración de todas las preparaciones, las cuales estuvieron entre 40 y 59% para maíz QPM y entre 52 y 60% para maíz común. Graham *et al.*¹⁰⁰ en 1980, reportaron en su estudio que en el proceso de trilla se presentan pérdidas de proteína, aunque no hacen referencia al color del maíz empleado. Mendoza-Elos *et al.*¹⁰¹ en 2006 reportaron una concentración de proteína ligeramente menor en el endospermo que en el grano entero.

⁹⁹ ORTEGA, E; VILLEGAS, E y VASAL S. Op. cit., p. 446-51.

¹⁰⁰ GRAHAM, George G., *et al.* Nutritional value of normal, opaque-2 and sugary-2 opaque-2 maize hybrids for infants and children. 1. Digestibility and utilization. The Journal of Nutrition. 1980, vol. 110, p. 1061-9.

¹⁰¹ MENDOZA-ELOS M., *et al.* Op. cit., p. 153-61.

En cuanto a las preparaciones, la mazamorra elaborada con maíz QPM presentó mayor concentración de proteína soluble que la de maíz común. Resultados similares encontraron otros autores para la concentración de proteína para la elaboración de tortillas^{102,103}. Las demás preparaciones analizadas en este estudio no presentaron diferencia en la concentración de proteína entre maíz QPM y maíz común.

3.3.3. Maíz tierno amarillo. Como se observa en el cuadro 24, en el paso intermedio para obtener dos preparaciones de choclo, se observó que el de maíz QPM presentó mayor concentración de proteína soluble que el de maíz común. En cuanto a las preparaciones, todas las elaboradas con maíz tierno amarillo QPM presentaron mayor concentración de proteína soluble que las elaboradas con maíz tierno amarillo común.

Cuadro 24. Contenido de proteína soluble (g de proteína soluble/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno amarillo común y con maíz tierno amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

Preparación	Paso	Proteína Soluble				P ⁴
		Común		QPM ¹		
		g/kg ²	Pd ³	g/kg ²	Pd ³	
Choclo entero	1	14,157±1,586		17,757±1,953		P≤0,05
Choclo cocido	2	10,407±0,346	26	14,632±1,378	18	P≤0,05
Choclo frito	2	9,924±2,480	30	15,264±1,390	14	P≤0,05
Envuelto choclo						
Masa	2	16,412±2,118	---	33,338±0,415	---	P≤0,05
Envuelto choclo	3	9,820±1,635	31	15,444±1,448	13	P≤0,05
Arepa de choclo						
Masa	2	16,412±2,118	---	33,338±0,415	---	P≤0,05
Arepa de choclo	3	10,323±0,316	27	16,755±1,380	6	P≤0,05
¹ Quality Protein Maize ² g de triptófano/100 g de producto seco ³ % de pérdida de proteína soluble con respecto al maíz entero ⁴ Valor P según análisis estadístico						

¹⁰² ORTEGA, E; VILLEGAS, E y VASAL S. Op. cit., p. 446-51.

¹⁰³ BRESSANI, R.; ELIAS, L.G. y GÓMEZ-BRENES, R.A. Protein quality of opaque-2 corn: evaluation in rats. The Journal of Nutrition. 1968, vol. 97, p. 173-80.

Se observó pérdida de proteína soluble durante la cocción; esta estuvo entre 26 y 31% para maíz común y entre 6 y 18% para maíz QPM. Como se puede observar, el maíz QPM presenta menores pérdidas que el maíz común durante los procesos de cocción.

3.3.4. Maíz tierno blanco. El paso intermedio de las preparaciones de maíz tierno blanco QPM presentó mayor concentración de proteína soluble que el de maíz común (Cuadro 25). Las preparaciones elaboradas con maíz tierno blanco no presentaron diferencia entre maíz QPM y maíz común.

Durante la elaboración de las preparaciones con maíz tierno blanco, también se observó pérdida de proteína soluble. Esta pérdida estuvo entre 15 y 33% para maíz común y 4 y 36% para maíz QPM.

Cuadro 25. Contenido de proteína soluble (g de proteína soluble/kg de producto seco, humedad 1%) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno blanco común y con maíz tierno blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

Preparación	Paso	Proteína Soluble				P ⁴
		Común		QPM ¹		
		g/kg ²	Pd ³	g/kg ²	Pd ³	
Choclo entero	1	17,499±1,608		17,563±2,862		P=0,51
Choclo cocido	2	14,248±1,465	18	13,764±2,526	22	P=0,83
Choclo frito	2	11,690±0,320	33	11,158±1,767	36	P=0,51
Envuelto choclo						
Masa	2	13,610±0,976	22	16,270±1,505	7	P≤0,05
Envuelto choclo	3	11,898±2,059	32	15,620±3,470	11	P=0,13
Arepa de choclo						
Masa	2	13,610±0,976	22	16,270±1,505	7	P≤0,05
Arepa de choclo	3	14,783±1,217	15	16,839±1,222	4	P=0,13
¹ Quality Protein Maize ² g de triptófano/100 g de producto seco ³ % de pérdida con respecto al maíz entero ⁴ Valor P según análisis estadístico						

3.4. DETERMINACIÓN DE DIGESTIBILIDAD “*IN VITRO*” DE PROTEÍNA.

Se realizó el análisis de digestibilidad de proteína a las preparaciones, más no a las materias primas. Se encontró que la digestibilidad de las preparaciones para los maíces comunes se encuentra entre 75 y 86%, y para los maíces QPM entre 75 y 85%, como se observa del cuadro 26 al cuadro 30.

3.4.1. Maíz seco amarillo. La mazamorra de maíz seco amarillo común presentó mayor digestibilidad de proteína que la elaborada con maíz QPM (Cuadro 26); en las otras dos preparaciones no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre maíz común y maíz QPM.

Cuadro 26. Digestibilidad “*in vitro*” de proteína (% de digestibilidad) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco amarillo común y con maíz seco amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

Preparación	Digestibilidad de Proteína		
	Común	QPM ¹	P ²
	%	%	
Mazamorra	84,562±0,499	81,914±0,220	P _≤ 0,05
Envuelto pelado	85,540±1,792	84,158±0,072	P=0,51
Cauncharina	75,187±1,733	77,703±2,067	P=0,13
¹ Quality Protein Maize			
² Valor P según análisis estadístico			

Ortega, Villegas y Vasal¹⁰⁴, en 1986 reportaron mayor digestibilidad de proteína en la tortilla elaborada con maíz común que en la elaborada con maíz QPM, tras el proceso de nixtamalización. Sin embargo, en este estudio para el envuelto pelado que lleva un proceso similar, no se encontró diferencia entre maíz QPM y maíz común.

El envuelto pelado es la preparación que mayor digestibilidad de proteína “*in vitro*” presenta tanto para maíz común como para maíz QPM, y aunque no presenta diferencia de digestibilidad entre maíz QPM y maíz común, esta se encuentra por encima de las recetas que sí presentan diferencia.

Mientras tanto, la cauncharina es la preparación que presenta menor digestibilidad para ambos maíces; la elaboración de esta, a diferencia de las otras preparaciones, no lleva remoción del pericarpio y ni cocción con agua, ya que su procesamiento consiste

¹⁰⁴ ORTEGA, E; VILLEGAS, E y VASAL S. Op. cit., p. 446-51.

básicamente en un proceso de tueste, lo cual parece tener influencia en la digestibilidad de la proteína.

3.4.2. Maíz seco blanco. En la mazamorra de maíz seco blanco QPM se encontró mayor digestibilidad de proteína (Cuadro 27). Las demás preparaciones de maíz seco blanco no presentaron diferencia entre maíz QPM y maíz común, al igual que reportaron Pachón *et al.*¹⁰⁵ en 2008 y Fufa *et al.*¹⁰⁶ en 2003. Sin embargo, estos últimos autores, reportaron valores de digestibilidad menores a los encontrados en este estudio para la mazamorra, los cuales estuvieron entre 77% y 80% para MC y 78% para QPM.

Cuadro 27. Digestibilidad “in vitro” de proteína (% de digestibilidad) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz seco blanco común y con maíz seco blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

Preparación	Digestibilidad de proteína		
	Común	QPM ¹	P ²
	%	%	
Mazamorra	80,430+0,410	83,374+3,125	P≤0,05
Envuelto Anejo	82,336+0,322	82,300+0,052	P=0,51
Arepa	81,123+1,694	80,369+0,792	P=0,83
¹ Quality Protein Maize			
² Valor P según análisis estadístico			

3.4.3. Maíz tierno amarillo. Como se observa en el cuadro 28, no se encontró diferencia estadísticamente significativa en la digestibilidad de proteína entre maíz común y maíz QPM para ninguna de las preparaciones elaboradas con maíz tierno amarillo.

Los valores de digestibilidad de proteína “in vitro” estuvieron entre 77 (arepa de choclo) y 83% (choclo cocido) para maíz común y entre 77 (arepa de choclo) y 80% (choclo frito) para maíz QPM. La preparación que presentó menor digestibilidad de proteína para los dos tipos de maíz es la arepa de choclo, mientras la que más presentó digestibilidad es el choclo cocido.

3.4.4. Maíz tierno blanco. Se encontró mayor digestibilidad de proteína en el choclo cocido y el envuelto de choclo elaborados con maíz tierno blanco QPM (Cuadro 29). En las otras dos preparaciones no se encontró diferencia entre maíz común y maíz QPM.

¹⁰⁵ PACHÓN H., *et al.* Iron, zinc and protein bioavailability proxy measures of meals prepared with nutritionally enhanced beans and maize. *Journal of Food Science*. 2009, vol. 74, no. 5, p. H147-54.

¹⁰⁶ FUFU, H. *et al.* Op. cit., p. 269 - 273.

Cuadro 28. Digestibilidad “*in vitro*” de proteína (% de digestibilidad) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno amarillo común y con maíz tierno amarillo de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

Preparación	Digestibilidad de Proteína		
	Común	QPM ¹	P ²
	%	%	
Choclo cocido	83,283+3,089	78,970+1,105	P=0,13
Choclo frito	81,799+1,080	80,152+1,404	P=0,28
Envuelto choclo	79,114+0,884	78,330+0,273	P=0,13
Arepa de choclo	76,984+0,954	77,491+0,407	P=0,51
¹ Quality Protein Maize			
² Valor P según análisis estadístico			

Cuadro 29. Digestibilidad “*in vitro*” de proteína (% de digestibilidad) presente en diferentes preparaciones elaboradas con maíz tierno blanco común y con maíz tierno blanco de alta calidad de proteína (QPM), (n=3).

Preparación	Digestibilidad de proteína		
	Común	QPM ¹	P ²
	%	%	
Choclo cocido	77,570+0,496	79,229+0,826	P _≤ 0,05
Choclo frito	78,065+1,065	78,668+0,916	P=0,51
Envuelto choclo	77,968+0,219	79,078+0,082	P _≤ 0,05
Arepa de choclo	77,057+0,324	75,693+1,107	P=0,13
¹ Quality Protein Maize			
² Valor P según análisis estadístico			

Como se puede observar, la digestibilidad *in vitro* estuvo entre 77 y 78% para maíz común y 75 y 79% para maíz QPM.

4. CONCLUSIONES

Las preparaciones de maíz QPM poseen tendencia mayor o igual concentración de proteína soluble (3,3 g/Kg – 16,9 g/Kg), triptófano (0,012% - 0,107%) y digestibilidad de proteína (75% - 84%) que las preparaciones de maíz común (2,3 g/Kg – 14,8 g/Kg), (0% - 0,075%), (75% - 86%), respectivamente, razón por la cual, son consideradas de mejor calidad proteica que las de maíz común.

La concentración de triptófano presente en once preparaciones elaboradas con maíz QPM, fue significativamente superior a la concentración de triptófano encontrada en sus homólogas elaboradas con maíz común.

La concentración de proteína soluble presente en seis preparaciones elaboradas con maíz QPM, y en una preparación elaborada con maíz común fue significativamente mayor que la encontrada en sus homólogas de maíz común o maíz QPM respectivamente.

La digestibilidad “*in vitro*” de proteína que presentaron cuatro preparaciones de maíz QPM y una de maíz común, fue estadísticamente mayor que sus preparaciones homólogas de maíz común o QPM correspondientes.

Los procesos de cocción disminuyeron la concentración de triptófano en las diferentes preparaciones; sin embargo, las preparaciones elaboradas con maíz tierno amarillo presentaron menores pérdidas del aminoácido que las elaboradas con maíz tierno blanco o con maíces secos; estas pérdidas estuvieron entre 0 y 38%.

Durante la elaboración de las diferentes preparaciones se presentaron pérdidas de proteína soluble; sin embargo las pérdidas en las elaboradas con maíces tiernos fueron menores que las pérdidas en las elaboradas con maíces secos. Las pérdidas estuvieron entre 0 y 36% para los maíces tiernos.

La preparación del envuelto de maíz seco amarillo QPM, presentó mayor concentración de triptófano, proteína soluble y mayor digestibilidad, siendo la única preparación con resultados positivos para los tres indicadores analizados.

La mazamorra de maíz amarillo fue la única preparación de maíz común en la cual dos de los indicadores analizados (proteína soluble y digestibilidad de proteína) fueron mayores que en su homóloga de maíz QPM.

Con respecto a los procesos tecnológicos aplicados a los maíces secos (cocción en agua, asado, cocción con ceniza, tostado), el proceso de cocción en agua fue el que registró mayores mermas en la concentración de triptófano y proteína soluble, siendo estas del orden de 59 y 100%, mientras que los otros procesos sugieren pérdidas entre 35 y 74%.

Con respecto a los procesos tecnológicos aplicados a los maíces tiernos blancos (cocción en agua, y fritura), en el proceso de fritura para la obtención de choclo frito se registraron mayores pérdidas que en los procesos aplicados para obtener los otros alimentos, estando estas entre 18 y 83% para triptófano y 33 y 36% para proteína soluble.

Con respecto a los procesos tecnológicos aplicados a los maíces tiernos amarillos (cocción en agua y fritura), el proceso de fritura fue en el que se encontraron mayores pérdidas de triptófano (20% - 29%) y el proceso de cocción en agua en el que se encontraron mayores pérdidas de proteína soluble (18% - 31%), debido a las temperaturas alcanzadas durante dichos procesos y a los posibles cambios en la estructura química del aminoácido y las fracciones de proteína por interacciones con otros compuestos.

RECOMENDACIONES

Al trabajar con la comunidad en la recolección de datos y en especial de sus costumbres gastronómicas, es importante hacerle conocer a las personas que sus conocimientos son de gran interés para la comunidad y pueden contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de ellos mismos, de manera que vean su inclusión en el trabajo como algo indispensable y no como si los estuvieran utilizando, ya que las comunidades tienden a pensar que los investigadores solo se acercan a ellos para obtener información y luego utilizarla con fines de lucro personal.

Cuando se investiga maíz tierno, es importante que el tiempo transcurrido entre la cosecha y los análisis y/o procesos sea menor a dos días, para evitar deterioro de esta materia prima.

Al hacer análisis químicos es indispensable conocer los métodos que se están trabajando y la forma como ocurren las reacciones para poder resolver inconvenientes que puedan ocurrir durante el transcurso de los mismos, como por ejemplo la interferencia que puedan ocasionar los componentes de las muestras con los reactivos que se emplean para los análisis. En este caso en particular, fue necesario filtrar las muestras con un filtro especial para retirar la sacarosa de una muestra, de manera que no hubiera interferencia durante la cuantificación del aminoácido triptófano.

Conocer y controlar la temperatura en los diferentes tratamientos para poder investigar el comportamiento de la proteína y del aminoácido triptófano al alcanzar las temperaturas a las que se llega durante cada tratamiento al que son sometidos los alimentos.

Continuar con la investigación de otros alimentos elaborados con maíz QPM, ya que en Colombia hay una gran variedad de alimentos que se preparan con maíz y llevan diferentes procesos de elaboración.

Investigar como es el comportamiento del maíz QPM cuando para la obtención de los alimentos es necesario la inclusión de otros ingredientes.

BIBLIOGRAFÍA

AHENKORA, Kwaku, *et al.* Protein nutritional quality and consumer acceptability of tropical Ghanaian quality protein maize. *Food and Nutrition Bulletin*. 1999, vol. 20, no. 3.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, AOAC. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 15th. Ed. Pub. By AOAC, Washington, DC. 1990.

BADUI DERGAL, Salvador. *Química de los alimentos*. Ed. 4. Edo. De México: Pearson Educación de México S.A. de C.V., 2006. p. 191, 192, 205, 206, 222, 223, 226.

BELITZ, Hans Dieter y GROSCH, Werner. *Química de los alimentos*. Ed. 2. Zaragoza: Editorial Acribia, S. A., 1997. p.15, 16

BRESSANI, R.; ELIAS, L.G. y GÓMEZ-BRENES, R.A. Protein quality of opaque-2 corn: evaluation in rats. *The Journal of Nutrition*. 1968, vol. 97, p. 173-80.

CAUCA MULTICULTURAL. *Gastronomía en el Departamento del Cauca: la delicia de las comidas típicas*. [En Línea]. [Actualizado Junio, 22 de 2006]. <<http://caucadiverso.blogspot.com/2006/-06/gastronoma-en-el-departamentodel.html>>. [Consultado Julio 5 de 2009].

CHÁVEZ J.F. Composición del maíz opaco-2 venezolano: Análisis y calidad biológica de la arepa de opaco-2 y de maíz corriente. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 1972, vol. 2 no. 1, p. 147-60.

DERAS, Héctor. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA. EL Salvador.

FUFA, H. *et al.* Assessment of protein nutritional quality and effects of traditional processes: A comparison between Ethiopian quality protein maize and five Ethiopian adapted normal maize cultivars. En: *Nahrung/Food*. 2003, vol. 47, no. 4, p. 269-73.

GALLARDO, Miriam. *Concentrados y subproductos para la alimentación de rumiantes*. [En línea]. <<http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/NUTRICION/TEORICOS/Tema%202.-%20Material%20de%20lectura.%20Concentrados%20y%20subproductos.pdf>>. [Consultado diciembre 2 de 2010].

_____. *Soja: Harinas de Extracción para la Alimentación del Ganado*. [En línea]. <<http://www.econoagro.com/verArticulo.php?contenidoID=925>>. [Consultado diciembre 2 de 2010].

GIL, Ángel. Tratado de Nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. [En línea]. 2010, Ed. 2. Madrid: Medica panamericana., p. 536. Disponible en internet: <http://books.google.com/books?id=hcwBJ0FNvqYC&pg=PT560&dq=fritura+perdida+proteina&hl=es&ei=WfyRTf77HIG3twfOmfB1&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCgQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false>. [Consultado Marzo 24 de 2011]

GRAHAM, George G., *et al.* Nutritional value of normal, opaque-2 and sugary-2 opaque-2 maize hybrids for infants and children. 1. Digestibility and utilization. *The Journal of Nutrition*. 1980, vol. 110, p. 1061-9.

GUNARATNA, Nilupa. Evaluating the nutritional impact of maize varieties genetically improved for protein quality. West Lafayette, Indiana. 2007. Trabajo de grado Doctor en filosofía. Universidad de Purdue.

HANS, Beyer Y WOLFGANG, Walter. Manual de química orgánica. Barcelona: Editorial Reverté S.A. 1987. p. 910, 911.

HSU, H.W. *et al.* Multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of Food Science*. 1977, vol. 42, no. 3, p. 1269-1273.

INFOAGRO. El cultivo del maíz. [En línea]. [1999]. <<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>> [Septiembre 16 de 2009].

INGLE, John; BEITZ, D. y HAGEMAN, R.H. Changes in composition during development and maturation of maize seeds. *Plant Physiology*. 1965, vol. 40, no. 5, p. 835-9.

INSTITUTE OF MEDICINE OF THE NATIONAL ACADEMIES. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. Washington, D.C.: The national academies press. 2005, p. 590-1, 593-5, 608-9, 682, 685, 723-4, 731.

INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR, ICBF. Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia, 2005. Bogotá: Oficina de comunicaciones y atención al ciudadano. 2006, p. 245, 303, 323.

KRIVANEK, Alan F; *et al.* Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. *African Journal of Biotechnology*. 2007, vol. 6, no. 4, p. 312-24. Disponible desde internet: <<http://www.aca-demicjournals.org/AJB>>.

LOWRY, Oliver, *et al.* Protein measurement with the Folin Phenol Reagent. *Journal of Biological Chemistry*. 1951, vol. 193, p. 265-275.

McDONOUGH Frank E., *et al.* *In vitro* assay for protein digestibility: Interlaboratory study. *Journal Association of Official Analytical Chemists*. 1990, vol. 73, no. 4, p. 622-5.

MENDOZA-ELOS M., *et al.* Contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y Ciencia*. 2006, vol. 22, no. 2, p. 153-61.

MILÁN-CARRILLO, J, *et al.* Nixtamalized flour from quality protein maize (*Zea mays* L.). Optimization of alkaline processing. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2004, vol. 59, p. 35-44.

MORALES, Mariano. Efecto del consumo de maíz de alta calidad proteínica en niño(a)s de familias indígenas de las regiones Mazateca y Mixe del estado de Oaxaca: una estrategia agronómica de desarrollo entre campesinos que practican agricultura de subsistencia (tesis). 2002. México: Colegio de Postgraduados. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.

NURIT, Eric, *et al.* Reliable and inexpensive colorimetric method for determining protein-bound tryptophan in maize kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009, vol. 57, p. 7233-8.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. EL maíz en la nutrición humana. [En línea]. 1993. <<http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S03.htm>>. [Consultado noviembre 12 de 2010]

_____. _____. [En línea]. 1993. <[http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S02.htm#Capitulo 1 Introducción](http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S02.htm#Capitulo%201%20Introducci%C3%B3n)>. [Consultado noviembre 12 de 2010]

_____. Food, nutrition and agriculture: 2/3 Nutrient requirements: Recent developments in protein quality evaluation. [En línea]. 1991. <[http://www.fao.org/docrep/U5900T/u5900t07.htm#novedades%20en%20la%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20calidad%20de%20las%20prote%EDnas](http://www.fao.org/docrep/U5900T/u5900t07.htm#novedades%20en%20la%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20calidad%20de%20las%20prote%C3%ADnas)>. [Consultado Junio 18 de 2008].

_____. Raíces, tubérculos, plátanos y bananos en la nutrición humana. [En línea]. 1991. p. 81. Disponible en internet: <http://books.google.com/books?id=gyB_liUUS0C&pg=PA81&dq=perdida+de+proteina+calor+coccion&hl=es&ei=nBKRTZP3OlqFtgfso7RT&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CDcQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false>. [Consultado Marzo 24 de 2011]

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA, UNESCO. Popayán, Colombia se convierte en la primera ciudad de la gastronomía de la UNESCO. [En línea]. [Actualizado Agosto 28 de 2005]. <http://portal.unesco.org/culture/es/ev.php-URL_ID=28229&URL_D-O=DO_PRINTP>. [Consultado Julio 5 de 2009].

ORTEGA, E; VILLEGAS, E. y VASAL S. A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chemistry*. 1986, vol. 63, no. 5, p. 446-51.

ORTEGA, Evelin, *et al.*, Efectos de la ingesta de maíz de alta calidad de proteína (QPM) versus maíz convencional en el crecimiento y la morbilidad de niños nicaragüenses desnutridos de 1 a 5 años de edad. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 2008, vol. 58, no. 4, p. 377-85.

PACHÓN H., *et al.* Iron, zinc and protein bioavailability proxy measures of meals prepared with nutritionally enhanced beans and maize. Journal of Food Science. 2009, vol. 74, no. 5, p. H147-54.

PANEL ON QUALITY PROTEIN MAIZE. Quality Protein Maize. Washington, D.C.: National academy press, 1998.

QUIROGA SÁNCHEZ, Christian. Cauca es cultura y naturaleza. [En línea]. *elespectador.com*. [Actualizado Junio 9 de 2009]. <<http://www.elespectador.com/impreso/cultura/goce/articuloimpreso-145025-cauca-cult>>. [Consultado Julio 5 de 2009].

SERNA-SALDIVAR S.O., *et al.* Effects of lime cooking on energy and protein digestibilities of maize and sorghum. Cereal Chemistry. 1987, vol. 64, no. 4, p. 247-52.

SERNA-SALDIVAR S.O., *et al.* Evaluation of the lime-cooking and tortilla making properties of quality protein maize hybrids grown in Mexico. Plant Foods for Human Nutrition. 2008, vol. 63, p. 119-25.

SHILS, Maurice E. *et al.* Modern Nutrition in Health and Disease. Ed. 10. Estados Unidos: Lippincott Williams & Wilkins. 2006. p. 57.

STIPANUK, Martha H, PhD. Biochemical and physiological aspects of human nutrition. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 2000. p. 24, 25, 212, 292, 293

TOBAR, Oscar. Gastronomía popular de Popayán. [En Línea]. [Actualizado Abril 5 de 2009] <http://www.ciudadblanca.com/gama/actualidad/formato.php?id_=886&&id_categoria>. [Consultado Julio 9 de 2009].

VÉLEZ J.F. y HERNÁNDEZ J.X. Proceso de fritura de alimentos. Una revisión. En: VALDERRAMA, José O. Información Tecnológica. [En Línea]. 1999, vol 10, no 2, p. 129. Disponible en internet: <http://books.google.com/books?id=Z0fUgdnVHdgC&pg=PA129&-dq=temperatura+freir+fritura+aceite&hl=es&ei=TmWOTcGeBMmCtgfazoizDQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CC0Q6AEwAQ#v=onepage&q=temperatura%20freir%20fritura%20aceite&f=false>. [Consultado Marzo 24 de 2011]

VILLEGAS, A; VASAL, S.K. y BJARNASON, M. Quality protein maize: What is it and how was it Developed. In Mertz ET (Ed). Quality protein maize. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota. 1992, p. 27-48

VIVEK, B.S. *et. al.* Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM. México, D.F.: CIMMYT. 2008. p. VII, 13

