

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE PANIFICACIÓN ADICIONADO CON  
HARINA DE SEMILLA DE ERANO, *Ebenopsis ebano* (Boiss.) Tanneby &  
Grimes Y POSTERIOR EVALUACIÓN DE PARÁMETROS  
FÍSICOQUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y SENSORIALES

Por

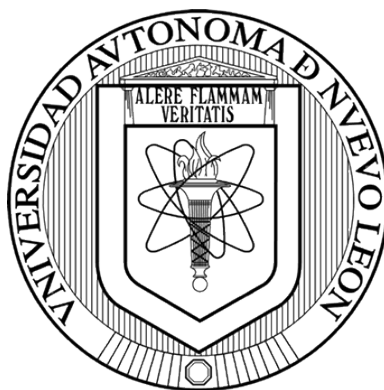
Q.F.B. JESÚS MANUEL ZARAGOZA GARCÍA

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS  
CON AGENTUACION EN ALIMENTOS

DICIEMBRE 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE PANIFICACIÓN ADICIONADO CON  
HARINA DE SEMILLA DE ÉBANO, *Ebenopsis ebano* (Berland) Barneby &  
Grimes Y POSTERIOR EVALUACIÓN DE PARÁMETROS  
FISICOQUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y SENSORIALES

Por

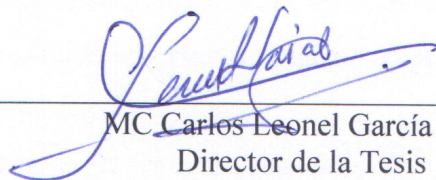
Q.F.B JESÚS MANUEL ZARAGOZA GARCÍA

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS  
CON ACENTUACIÓN EN ALIMENTOS

Diciembre 2010

DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE PANIFICACIÓN ADICIONADO CON  
HARINA DE SEMILLA DE ÉBANO, *Ebenopsis ebano* (Berland) Barneby &  
Grimes Y POSTERIOR EVALUACIÓN DE PARÁMETROS  
FISICOQUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y SENSORIALES

Comité de Tesis



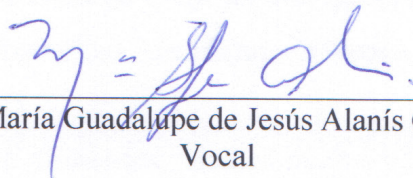
---

MC Carlos Leonel García Díaz  
Director de la Tesis



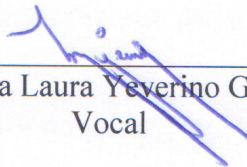
---

Dr. Carlos Abel Amaya Guerra  
Secretario



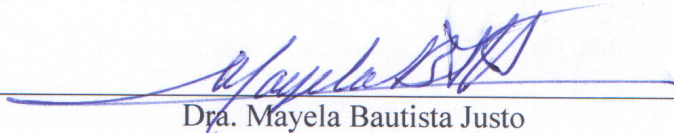
---

Dra. María Guadalupe de Jesús Alanís Guzmán  
Vocal



---

MC Myrna Laura Yeverino Gutiérrez  
Vocal



---

Dra. Mayela Bautista Justo  
Vocal  
(Asesor Externo)

## **RECONOCIMIENTOS**

Quiero expresar además de un profundo agradecimiento, todo mi reconocimiento a la **Dirección de la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad Autónoma de Nuevo León**, encabezada por el Dr. Sergio S. Fernández Delgadillo y a la Subdirectora Administrativa QFB Gloria Nelly Páez Garza por el apoyo económico, y la confianza depositada en un servidor para cursar un posgrado y para la realización de este trabajo. Así como también a la QFB Emilia E. Vázquez Farías por la aprobación y el apoyo económico a un servidor como Directora de la Facultad de Ciencias Químicas durante las primeras etapas del proyecto.

Los siguientes departamentos merecen también un reconocimiento, por haber contribuido al desarrollo de este trabajo de investigación.

**Laboratorio “Ciencia de los Alimentos” de la  
Facultad de Ciencias Biológicas en la  
Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Laboratorio de Alimentos, Medicamentos y Toxicología de la  
Facultad de Ciencias Químicas en la  
Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Laboratorio de Servicios Profesionales “Ing. Severo G. Flores Lira” de la  
Facultad de Ciencias Químicas en la  
Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Subdirección de Estudios de Posgrado de la  
Facultad de Ciencias Biológicas en la  
Universidad Autónoma de Nuevo León**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero y necesito agradecer...

A Dios

Por darme la vida, y enseñarme a valorar, superar obstáculos y lograr metas.

A mis Padres, Jesús Zaragoza y Lidia García

Por todo su amor, por darme estudios y acompañarme como un apoyo constante e incondicional a lo largo de esta etapa de superación académica, personal y de profundo aprendizaje. Gracias Papás.

A mi Hermana, Laura

Por tu cariño y por estar siempre interesada y al pendiente de mi trabajo, siempre dispuesta a ayudarme. Gracias Laura.

A mis Sobrinos, Antonio, Julio y Lizeth

Porque a pesar de su corta edad, me dieron ánimo y me ayudaron en lo que estuvo a su alcance. Gracias niños.

A mis Amigos y Colegas

Por su amistad, curiosidad por este trabajo, sus comentarios y apoyo moral desinteresado. Gracias a Saúl Márquez, Mario Hvtado, Emilio Flores, David Melgoza, Graciela Granados, Olga Flores, Nicolás Alday, Perla Martínez, Claudia Guerrero, Fermín Ponce y Enrique Zuñiga.

## **Un agradecimiento especial**

A mis asesores y demás miembros del Comité de Tesis. El Director de este trabajo, MC Carlos Leonel García Díaz, a la Dra. María Guadalupe Alanís Guzmán y el Dr. Carlos Abel Amaya Guerra de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Dra. Mayela Bautista Justo de la Universidad de Guanajuato, por su paciencia, consejos y acertada guía para que un servidor pudiera concluir este trabajo.

A la MC Myrna Laura Yeverino Gutiérrez, Jefe del Laboratorio de Alimentos, Medicamentos y Toxicología de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por su asesoría como miembro del Comité de Tesis, valiosos consejos y por haberme permitido desarrollar parte de este trabajo en el laboratorio a su cargo.

A la Dra. Yolanda Araceli Gracia Vázquez, Jefe de la Carrera de Químico Farmacéutico Biólogo, por sus recomendaciones y valiosa contribución a este trabajo.

Al QI Gregorio Rosas Sosa, Jefe del Laboratorio de Servicios Profesionales “Ing. Severo G. Flores Lira”, por haberme permitido desarrollar parte de este trabajo en el laboratorio a su cargo.

A todas aquellas personas que en algún momento y de algún modo me ayudaron a llevar a buen término esta importante etapa de mi vida personal y profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

Sección	Página
RECONOCIMIENTOS.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
NOMENCLATURA.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUCCION.....	1
2. HIPÓTESIS.....	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. Objetivo General.....	4
3.2. Objetivos Específicos.....	5
4. ANTECEDENTES.....	6
4.1. Relevancia de los constituyentes alimenticios en la nutrición humana.....	6
4.1.1. Carbohidratos.....	6
4.1.2. Proteínas.....	7
4.1.2.1. Calidad de las proteínas en alimentos y su evaluación.....	7
4.1.2.2. Complementación proteica.....	9
4.1.3. Aceites y Grasas.....	9
4.1.4. Vitaminas.....	10
4.1.5. Minerales.....	11
4.1.5.1. Macrominerales.....	12
4.1.5.2. Oligoelementos.....	14
4.2. Importancia nutricional de las leguminosas.....	18
4.3. Descripción botánica del <i>Ebenopsis ebano</i> (Berland) Barneby & Grimes.....	21
4.4. Características taxonómicas.....	21
4.4.1. Aspecto y tamaño.....	21
4.4.2. Hojas.....	22
4.4.3. Flores.....	22
4.4.4. Fruto.....	22
4.4.5. Tallo.....	22
4.5. Clasificación.....	23
4.6. Nombres científicos.....	23
4.7. Nombres comunes.....	23
4.8. Distribución Geográfica.....	24
4.9. Usos potenciales en alimentación y otros rubros.....	24

4.10. Composición química y valor nutricional de la semilla madura cruda de <i>Ebenopsis ebano</i> .....	26
4.10.1. Composición proximal y aporte de fibra dietética.....	26
4.10.2. Composición aminoacídica.....	26
4.10.3. Contenido de compuestos antinutricionales.....	28
4.10.4. Contenido de compuestos antioxidantes.....	29
4.10.5. Calidad proteica.....	30
4.11. El trigo y sus productos.....	32
4.11.1. Características y composición de la harina de trigo.....	32
4.12. Productos de panadería.....	35
4.12.1. Ingredientes para los panes rápidos y su función.....	36
4.12.1.1. Harina.....	36
4.12.1.2. Líquido.....	36
4.12.1.3. Grasa.....	36
4.12.1.4. Azúcar.....	37
4.12.1.5. Huevo.....	37
4.12.1.6. Polvo para hornear.....	37
4.12.1.7. Otros Ingredientes.....	38
4.12.2. Balance de los ingredientes.....	39
4.12.3. Manipulación y mezclado de los ingredientes.....	39
4.13. Proceso de horneado.....	40
4.13.1. Elaboración de muffins regulares (panqués o mantecadas)....	40
4.13.1.1. Características de los muffins regulares.....	42
4.14. Enriquecimiento nutricional de productos de panificación.....	42
5. METODOS.....	45
5.1. Recolección de la semilla y preparación de las muestras.....	45
5.1.1. Cálculo del nivel óptimo de adición con harina de ébano.....	45
5.2. Elaboración de los productos de panificación.....	48
5.2.1. Materiales e ingredientes.....	49
5.2.2. Características de los ingredientes.....	52
5.3. Descripción de las técnicas analíticas y protocolos de prueba.....	52
5.3.1. Evaluación de parámetros fisicoquímicos.....	52
5.3.1.1. Medición del peso, altura, volumen, densidad y color.....	52
5.3.1.2. Análisis proximal.....	53
5.3.1.2.1. Humedad.....	53
5.3.1.2.2. Cenizas.....	54
5.3.1.2.3. Proteína.....	54
5.3.1.2.4. Grasa.....	54
5.3.1.2.5. Extracto etéreo.....	55
5.3.1.3. Cuantificación de la fibra dietética total.....	55
5.3.1.4. Cuantificación de minerales.....	56
5.3.1.5. Determinación de la composición lipídica.....	59
5.3.2. Evaluación biológica de la calidad proteica.....	60
5.3.2.1. Digestibilidad verdadera (DV).....	60
5.3.2.2. Formulación de las dietas y condiciones del bioensayo.....	61
5.3.2.3. Cálculo de la cuenta química o puntaje químico	



corregido por la digestibilidad proteica (PDCAAS)...	62
5.3.3. Evaluación sensorial de productos alimenticios.....	63
5.3.3.1. Pruebas sensoriales.....	63
5.4. Análisis Estadístico.....	63
6. RESULTADOS.....	64
6.1. Composición de la semilla de <i>Ebenopsis ebano</i> .....	64
6.1.1. Composición proximal y contenido de fibra dietética total.....	64
6.1.2. Composición lipídica.....	66
6.1.3. Contenido de minerales.....	69
6.2. Cálculo del nivel óptimo de adición con harina de ébano.....	73
6.3. Evaluación de parámetros fisicoquímicos en los productos de panificación.....	75
6.3.1. Características físicas.....	75
6.3.2. Composición proximal y contenido de fibra dietética total.....	78
6.3.3. Composición lipídica.....	79
6.3.4. Contenido de minerales.....	83
6.4. Evaluación biológica de la calidad de la proteína en los productos de panificación.....	87
6.5. Cálculo de la cuenta o puntaje químico corregido por la digestibilidad proteica.....	87
6.6. Evaluación sensorial.....	87
7. DISCUSIÓN.....	88
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
APÉNDICE.....	98
LITERATURA CITADA.....	117
RESUMEN BIOGRÁFICO.....	125

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Composición aminoacídica de la proteína en los cotiledones de la semilla madura, cruda y sin testa de <i>Ebenopsis ebano</i> (González, 1996).....	27
2. Composición aminoacídica de la proteína en la harina de trigo todo propósito, blanca, enriquecida (USDA, 2006).....	34
3. Patrón de referencia sugerido para los requerimientos de aminoácidos esenciales.....	47
4. Receta para la elaboración del producto control (muffins, panqués o bizcochuelos regulares) según Serna (2003) con modificaciones.....	50
5. Receta para la elaboración de muffins adicionados con un 36% de harina de ébano.....	51
6. Condiciones particulares para el análisis de minerales por espectrofotometría de absorción atómica en las muestras de harina de trigo y ébano así como en los productos horneados.....	58
7. Composición proximal y contenido de fibra dietética total de los cotiledones de la semilla de <i>Ebenopsis ebano</i> .....	64
8. Composición proximal y contenido de fibra dietética total obtenida para la harina de trigo <i>Triticum aestivum</i> utilizada en el estudio.....	65
9. Composición de la grasa extraída de la harina de la semilla madura cruda de <i>Ebenopsis ebano</i> .....	67
10. Contenido (en gramos) de ácidos grasos en 100 gramos de la harina de la semilla <i>Ebenopsis ebano</i> .....	68
11. Concentración (mg/100g) para los macro y microminerales cuantificados en las harinas de trigo y ébano ( <i>Ebenopsis ebano</i> ).....	70
12. Valores de cómputo o puntaje químico para diferentes mezclas de harina de trigo y harina de los cotiledones de la semilla madura cruda y sin testa de la leguminosa <i>Ebenopsis ebano</i> ...	74

13. Resultados de la evaluación de parámetros físicos en los productos horneados.....	77
14. Resultados de la evaluación instrumental del color en la miga y corteza de los productos horneados.....	77
15. Composición proximal, contenido de fibra dietética total y valor energético de los productos horneados elaborados.....	78
16. Composición de la grasa extraída en los productos horneados, con y sin adición de harina de la semilla madura cruda de <i>Ebenopsis ebano</i> .....	80
17. Contenido de ácidos grasos en los productos horneados, con y sin adición de harina de la semilla madura cruda de <i>Ebenopsis ebano</i> .....	81
18. Concentración (mg/100g) para los macro y microminerales cuantificados en los productos horneados elaborados con harina de trigo (control) y con una mezcla de harinas de trigo y ébano (prueba).....	84

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Contenido (mg/100g) de los macrominerales calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio encontrados en las harinas de trigo y en la harina de los cotiledones de la semilla madura, cruda y sin testa de <i>Ebenopsis ebano</i> .....	71
2.	Contenido (mg/100g) de los microminerales u oligoelementos cobre, hierro y cinc encontrados en las harinas de trigo y en la harina de los cotiledones de la semilla madura, cruda y sin testa de <i>Ebenopsis ebano</i> .....	72
3.	Desarrollo de la receta o fórmula base usada para los productos horneados. A receta original, B adición de un 0.5 % de goma arábica, C incremento en la cantidad del polvo para hornear y D disminución de la cantidad de agua adicionada.....	76
4.	Apariencia de la corteza (superficie) y “miga” (o migajón) de los productos horneados. A la izquierda se aprecia el producto control a base de trigo y a la derecha el producto a prueba adicionado con harina de cotiledones de <i>Ebenopsis ebano</i> .....	76
5.	Comparación de las fracciones saturada, monoinsaturada y poliinsaturada de la grasa en los productos horneados, control y a prueba.....	82
6.	Contenido (mg/100g) de los macrominerales calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio encontrados en los productos horneados (muffin) control y el adicionado con harina de los cotiledones de la semilla madura, cruda y sin testa de <i>Ebenopsis ebano</i> .....	85
7.	Contenido (mg/100g) de los microminerales u oligoelementos cobre, hierro y cinc encontrados en los productos horneados (muffin) control y el adicionado con harina de los cotiledones de la semilla madura, cruda y sin testa de <i>Ebenopsis ebano</i> .....	86

## NOMENCLATURA

Abs	Absorbancia
AOAC	Asociación de Químicos Analíticos Oficiales. Association of Official Analytical Chemists
cps	Centipoise
ELN	Extracto libre de nitrógeno
FAO	Food and Agriculture Organization. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FDT	Fibra dietética total
HCl	Ácido clorhídrico
kg	Kilogramo
NNO <sub>3</sub>	Ácido nítrico
H <sub>2</sub> O	Agua
mg	Miligramo
min	Minuto
mL	Mililitro
nm	Nanómetro
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
PDCAAS	Cuenta Química Corregida por Digestibilidad Proteica
ppm	Partes por millón
rpm	Revoluciones por minuto
μL	Microlitro
μm	Micrometro, micra
%	Porcentaje o porciento

## RESUMEN

En el presente estudio se elaboraron dos productos de panificación tipo mantecada (muffin) o panqué, uno a partir de harina de trigo como control y otro a prueba, con una mezcla de harina de trigo con un 36% de sustitución con harina de cotiledones de la semilla madura cruda y sin testa del árbol de ébano, *Ebenopsis ebano* (Berland) Barneby & Grimes, leguminosa conocida comúnmente como “maguacata”.

Ambos productos fueron sometidos a pruebas sensoriales afectivas y posteriormente analizados para la determinación de su peso, altura, volumen, densidad, color, composición proximal, contenido de grasa saturada, monoinsaturada, poliinsaturada, fibra dietética total, macrominerales (sodio, potasio, fósforo, calcio y magnesio) y oligoelementos o microminerales (cobre, hierro y cinc). La calidad de la proteína se estimó determinando el porcentaje de digestibilidad verdadera (DV) y calculando el puntaje químico o score aminoacídico corregido por la digestibilidad proteica (PDCAAS) con base en el puntaje químico de las harinas de trigo y ébano.

El contenido de proteína en el producto adicionado con harina de ébano fue significativamente mayor que el del producto control. Los valores de fibra dietética total, grasa poliinsaturada, cobre, cinc, calcio, fósforo, magnesio, potasio y sodio también se vieron aumentados. Cabe mencionar que los valores encontrados para éste último mineral en el producto a prueba, son inferiores a los reportados en las etiquetas de productos de panificación de este tipo disponibles comercialmente.

## ABSTRACT

In this work, physiochemical, biological and sensory parameters of a muffin added with *Ebenopsis ebano* (Berland) Barneby and Grimes (Texas Ebony, a legume commonly known in Mexico as maguacata) flour were studied. Wheat flour was replaced with legume flour (36%) obtained from cotyledons of raw mature seeds.

Protein, dietary fiber, total fat, saturated fat, monounsaturated fat, polyunsaturated fat, minerals (sodium, potassium, phosphorus, calcium and magnesium) and trace minerals (copper, zinc and iron) as well as height, loaf volume, weight, density, color, consumer satisfaction (hedonic test) and preference were analyzed. The protein quality of baked muffins were evaluated by true digestibility analysis and Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS) calculation from aminoacidic scores of wheat flour and wheat/ebony flour mix.

The protein content of muffin made with 36% of *Ebenopsis ebano* flour was significantly higher than the control muffin (100% wheat flour). Dietary fiber and polyunsaturated fat values were also increased. Is possible by legume flour addition, obtain a bakery product with acceptable sensory quality and a major content of dietary fiber, polyunsaturated fat and protein to use as a dietary supplement.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, ENSANUT, en México se vive actualmente una polarización epidemiológica. Existen por un lado, altas cifras de desnutrición y también, aumentos sin precedentes en la prevalencia de sobrepeso y obesidad en niños en edad escolar, adolescentes y adultos. La desnutrición, el sobrepeso y la obesidad se producen por alteraciones en el equilibrio entre la ingestión de energía y el gasto energético; la obesidad y el sobrepeso son el resultado de la ingestión de dietas con alta densidad energética y bajas en fibra. Estas condiciones representan un grave problema de salud pública ya que tienen efectos adversos en la salud, dependiendo del tipo de malnutrición y de la etapa de la vida en la que se presenten (Olaiz, 2006).

La demanda de alimentos listos para comer, con mejor vida útil, sabor satisfactorio, facilidad de llevar y con una alta calidad nutricia se está incrementando en el mundo debido entre otras cosas al crecimiento poblacional y urbanización. Los productos de panificación son importantes ya que satisfacen todos estos requerimientos y debido a esto, son consumidos ampliamente alrededor del mundo (Chavan y Kadam, 1993). La Organización Mundial de la Salud recomienda el consumo mínimo por persona de 60 kilos de pan por año por lo que en materia de desarrollo de nuevos productos se han comenzado a formular y producir panes con grasa más saludable, adicionados con omega 3, ricos en fibra, fortificados, orgánicos, con granos enteros o frutos secos (Santana, 2007, 2008).

La necesidad de generar productos panaderos que además de proporcionar calorías en forma de carbohidratos y grasa, también complemente la dieta con proteína, es imperativa para algunas poblaciones (Fernández-Michel, 2006). El alto consumo de productos de panificación puede ser usado como vehículo para la distribución de cantidades suplementarias de proteína a la población, esperando mejorar el valor nutricional de la dieta (Doxastakis, *et al.* 2002). La harina de trigo es un ingrediente básico en la elaboración de productos de panificación y aunque el trigo al igual que otros cereales son relativamente bajos en su contenido de proteína total y generalmente bajos en lisina, esto puede ser superado con una mezcla



apropiada con alguna leguminosa (Chavan y Kadam, 1993; Potter y Hotchkiss, 1995; Mensa-Wilmot, 2003). En general se reconoce que las proteínas de origen animal son de mejor calidad que las de origen vegetal; sin embargo se sostiene que las provenientes de leguminosas a pesar de ser ligeramente deficientes en aminoácidos azufrados tienen una calidad aceptable (Badui, 2006).

El enriquecimiento de la harina de trigo con ingredientes ricos en proteína y lisina tales como harina de leguminosas, concentrados o aislados proteicos de leguminosas ha recibido mucha atención en las últimas tres décadas (Dervas, et al., 1999). Este procedimiento denominado “complementación protéica”, mejora el balance de aminoácidos e incrementa el contenido proteico de los productos de panificación (Hosseney y Rogers, 1995). Se ha demostrado que la combinación de un cereal con una leguminosa, en una proporción por peso de 7 a 3 mejora la calidad protéica de las dietas (López y Bressani, 2008).

El elevado contenido proteico de las leguminosas las convierte en una importante y económica fuente de proteína vegetal, que adquiere especial relevancia en los países en vías de desarrollo, en los que la ingesta protéico-calórica es baja, por lo que las leguminosas además de ser una buena fuente de proteína representan la fuente más importante de energía (Martínez, *et al.*, 2000). Se ha encontrado que muchas leguminosas silvestres y otras subutilizadas poseen cantidades adecuadas de proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados, fibra dietética, minerales esenciales y vitaminas que son comparables a las de otras leguminosas de consumo común, y que además poseen compuestos bioactivos beneficiosos (Amubode, 1983; Sotelo, 1999; Bhat, 2008).

El *Ebenopsis ebano* (Berland), “Texas ebony” o “ébano”, es un árbol silvestre distribuido en el Noreste de la República Mexicana. Sus semillas (llamadas comúnmente maguacatas o mahuacatas) son leguminosas consumidas por habitantes de dicha región (González-Quijada, 1998, Gracia-Vázquez, 2009). La aplicación de métodos de procesamiento moderno apoyados en el conocimiento tradicional es la base para la explotación comercial de leguminosas silvestres o subutilizadas para el desarrollo de nuevos productos alimenticios biofortificados u otras aplicaciones en la industria farmacéutica (Bhat, 2009).

## **2. HIPÓTESIS**

Es posible gracias a la inclusión de harina de ébano, obtener un producto de panificación tipo muffin (mantecada, bizcocho o panqué) con una calidad sensorial aceptable y de calidad nutritiva superior a la del producto tradicional de harina de trigo, para ser utilizado como un atractivo complemento en la dieta.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

Desarrollar un producto de panificación tipo muffin a base de harina de trigo y harina de semilla de ébano *Ebenopsis ebano* (Berland) Barneby & Grimes de buena calidad sensorial y nutricia.

### **3.2. Objetivos específicos**

Obtener una harina de los cotiledones de la semilla madura cruda y sin testa de *Ebenopsis ebano*.

Estimar a partir del perfil de aminoácidos de la semilla de ébano y de la harina de trigo, la mezcla de harinas ideal con un mejor puntaje químico a probar en la elaboración del producto de panificación.

Evaluar comparativamente la calidad tecnológica, sensorial y nutricia del producto a prueba con un nivel de sustitución de 36% con harina de ébano, respecto al producto control con un 100% de harina de trigo.

## 4. ANTECEDENTES

### 4.1. Relevancia de los constituyentes alimenticios en la nutrición humana

Los alimentos proporcionan tanto energía como nutrimentos tales como carbohidratos, lípidos, proteínas, vitaminas, minerales y agua, todos necesarios para formar y conservar todas las células del cuerpo (Wardlaw, *et al.*, 2005). El valor nutritivo de los alimentos depende de sus componentes, es decir, de la cantidad y calidad de los nutrientes, así como de la presencia o ausencia de sustancias que afecten a su utilización nutritiva (digestibilidad, absorción o metabolismo) o con efectos tóxicos (Martínez, *et al.*, 2000).

#### 4.1.1. Carbohidratos

Los carbohidratos son los compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza y también los más consumidos por los seres humanos (pueden llegar a representar hasta el 80% de la dieta). La glucosa sintetizada en las plantas representa la materia prima fundamental para casi todos los carbohidratos por lo que da origen a muchos otros azúcares como sacarosa y fructosa y a polisacáridos como la celulosa y el almidón, por lo que los carbohidratos representan una fuente de energía barata y rápidamente disponible para una gran variedad de funciones fisiológicas. Los carbohidratos de reserva en plantas y animales son respectivamente el almidón y el glucógeno (Potter y Hotchkiss, 1995; Badui, 2006).

El papel de algunos carbohidratos, es esencial para mantener un buen funcionamiento intestinal. Los materiales vegetales indigeribles incluyen compuestos de la pared celular vegetal (celulosa, hemicelulosa y pectina), así como otras intracelulares y aquellas secretadas por las plantas como respuesta a una lesión (gomas, mucílagos y polisacáridos de algas). La lignina por otro lado, es una sustancia leñosa que se encuentra en tallos y semillas de frutas y vegetales así como en la capa de salvado de los cereales. No es un carbohidrato, sin embargo, junto con la celulosa, hemicelulosa, pectina y otras sustancias de origen vegetal que no se

digieren fácilmente, reciben el nombre de fibra alimentaria o fibra dietética (Mahan y Escott-Stump, 1998).

La Asociación Americana de Químicos de Cereales (AACC) definió en 2001 a la fibra dietética como “las partes comestibles de plantas, o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano, con una parcial o completa fermentación en el intestino grueso”. Esta definición incluye a polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas a plantas. La fibra dietética promueve efectos fisiológicos benéficos que incluyen la laxación así como la disminución de los niveles de colesterol y/o glucosa en sangre (AACC, 2001).

Es importante mencionar, que la fibra forma complejos con algunos minerales impidiendo su absorción, por lo que si se ingiere fibra en exceso, la fijación de minerales puede provocar un desequilibrio y hasta una deficiencia de los mismos. Las dietas que contienen cantidades moderadas de cereales, frutas y vegetales tienen pocas probabilidades de ser pobres en fibra o de fijar minerales en exceso (Potter y Hotchkiss, 1995).

#### **4.1.2. Proteínas**

Las proteínas además de proporcionar energía son el principal material estructural del cuerpo. Los seres humanos obtienen el nitrógeno que requieren en forma de aminoácidos (que pueden utilizarse con facilidad) a partir de las proteínas de la dieta. En el cuerpo, las proteínas son cruciales para la regulación y conservación del mismo, constituyen una gran parte del hueso y músculo, así mismo, son componentes esenciales de la sangre, membranas celulares, enzimas y factores inmunitarios (Wardlaw, *et al.*, 2005).

##### **4.1.2.1. Calidad de las proteínas en alimentos y su evaluación**

Una proteína completa es aquella que contiene todos los aminoácidos esenciales en cantidad y proporciones suficientes para el mantenimiento de la vida y el sostenimiento del crecimiento cuando se utiliza como única fuente proteica. Dicha proteína es de un elevado valor biológico. La mayoría de las proteínas de origen animal tienen elevado valor biológico mientras que las de origen vegetal no tienen,

en general, un valor biológico tan alto como las de origen animal debido a los aminoácidos limitantes (aminoácidos esenciales que no se encuentran en la concentración mínima requerida). Así, por ejemplo, la mayoría de las variedades de trigo, arroz y maíz son deficientes en lisina, el maíz es deficiente también en triptófano, las leguminosas tienen una calidad proteica ligeramente mayor, aunque tienen bajos contenidos de metionina (Potter y Hotchkiss, 1995).

La calidad nutritiva de una proteína es determinada por la composición de aminoácidos y la digestibilidad de dicha proteína. Los factores antinutricionales (ej. Inhibidores de tripsina) pueden afectar la calidad nutricional de una proteína. Sin embargo, los alimentos que contienen factores antinutricionales termolábiles son usualmente cocinados previamente a su consumo, inactivando por lo tanto, al inhibidor que de otro modo podría reducir la digestibilidad de la proteína. Los ensayos para la evaluación de la calidad proteica pueden utilizar animales en ensayos biológicos (*in vivo*), ensayos químicos o bioquímicos (*in vitro*), y/o cálculos simples. Debido a al costo y tiempo elevado requeridos para los métodos *in vivo*, los ensayos *in vitro* y cálculos basados en el contenido de aminoácidos son frecuentemente usados para estimar la calidad proteica (Nielsen, 2003).

El denominado “puntaje químico o score aminoacídico corregido por la digestibilidad proteica”, abreviado como PDCAAS, estima la calidad nutricional de la proteína combinando la siguiente información (Nielsen, 2003):

- a) Un cálculo que compara la cantidad del primer aminoácido limitante en una proteína con la cantidad de dicho aminoácido en una proteína de referencia, y
- b) Un ensayo *in vivo* que mide la digestibilidad de la proteína en ratas.

Para estudios de tipo nutricional con animales de laboratorio se ha aceptado a la rata de raza *Wistar* como modelo experimental debido a la experiencia en estudios de este tipo que se han realizado con esta raza, cuyo crecimiento refleja fielmente la calidad nutricional de su alimentación, mientras que otras líneas (Sprague, Dawley, Sherman, etc.) se prefiere utilizarlas en estudios relacionados con otras disciplinas como endocrinología, farmacología y otras. Las ventajas de la raza *Wistar* son principalmente su carácter omnívoro y, sobretodo, la sensibilidad de su respuesta a las condiciones nutricionales de su dieta por lo que es posible pronosticar la calidad

nutricional de un constituyente estudiado con el simple seguimiento de su consumo diario (Adrian, 2000).

#### **4.1.2.2. Complementación proteica**

Las proteínas incompletas pueden suplementarse con los aminoácidos esenciales de los que carecen, bien sea en forma de compuestos obtenidos por síntesis o como concentrados proteicos de fuentes naturales. Las mezclas de productos de origen animal y vegetal pueden salvar también las limitaciones de aminoácidos esenciales y ser adecuadas desde un punto de vista nutricional, siempre y cuando los componentes complementarios se faciliten en la misma toma, puesto que el organismo tiene una capacidad limitada de almacenamiento de aminoácidos, y se necesitan todos ellos para la síntesis proteica diaria. Actualmente, la suplementación es una práctica habitual a nivel mundial, para mejorar las fuentes alimenticias (Potter y Hotchkiss, 1995).

#### **4.1.3. Aceites y Grasas**

Las grasas y los aceites son los principales lípidos que se encuentran en los alimentos, y contribuyen a la textura y, en general, a las propiedades sensoriales y nutritivas (Badui, 2006). La mayor parte de los lípidos naturales están compuestos aproximadamente de un 95% de triglicéridos o triacilgliceroles. El 5% restante incluye trazas de monoglicéridos y diglicéridos, ácidos grasos libres, pigmentos, vitaminas liposolubles, fosfolípidos y esteroides. Además de proporcionar energía, los lípidos desempeñan actividades biológicas importantes, como parte estructural de membranas celulares y de los sistemas de transporte de diversos nutrientes. Los triglicéridos son la principal forma de almacenamiento de energía en el cuerpo humano. Las grasas contienen ácidos grasos poliinsaturados, de los cuales, el ácido linoléico, es un ácido graso esencial (Mahan y Escott-Stump, 1998).

Nutricionalmente se considera aceites insaturados a los que contienen ácidos grasos monoinsaturados omega-9, o ácidos grasos poliinsaturados del tipo omega-3 y omega-6. El ácido graso omega-9 más común es el ácido oléico, que naturalmente se da en los aceites de oliva, colza y cacahuete (maní). El ácido graso omega-6 más común es el ácido linoléico, que es considerado un ácido graso esencial, aunque el



omega-6 utilizado en el cuerpo humano es el ácido araquidónico (ARA), ricamente provisto por las carnes rojas (Morten B, 2004). Sin embargo, debido a que el organismo puede transformar el ácido linoléico en araquidónico, se considera actualmente solo a este último como esencial. Los cereales y los aceites de semillas, las grasas de los frutos secos y las grasas de las aves son buenas fuentes de ácido linoléico (Potter y Hotchkiss, 1995). Los ácidos grasos poliinsaturados n-6 tienen efectos benéficos en la enfermedad cardiovascular incluyendo el mejoramiento del perfil de lípidos sanguíneo, además del aumento de la sensibilidad a la insulina, disminución de la incidencia de diabetes tipo 2 y efectos antiarrítmicos (Abeywardena MY, 1991; Hu F, 1999, 2001; Lovejoy JC, 1999; Ryan E, 2007).

Los ácidos grasos omega-3 son derivados de semillas como la de linaza, pero las fuentes más importantes son las derivadas de la grasa, víceras o carne de peces y mamíferos marinos. Los ácidos grasos omega-3 más importantes son: el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA). Los ácidos grasos omega-3 provenientes de semillas son una fuente pobre de EPA y DHA. (Morten B, 2004).

Estudios recientes han proveído fuerte evidencia de que un incremento en la ingesta de ácidos grasos n-3 de fuentes vegetales o pescado reducen sustancialmente el riesgo de mortalidad cardiovascular. Ciertamente, ya sea que se trate de ácidos grasos monoinsaturados o poliinsaturados omega 3 y 6, hay fuertes indicios de que el reemplazo de la grasa saturada con insaturada es más efectivo que la simple reducción del consumo de grasa total en la prevención del riesgo de enfermedad cardiovascular (Hu, 2001; Ryan, et al., 2007).

#### **4.1.4. Vitaminas**

Las vitaminas son compuestos orgánicos, distintos de los aminoácidos y ácidos grasos esenciales, que deben proporcionarse en pequeñas cantidades a los organismos animales para el mantenimiento de la salud. La vitamina D constituye una excepción ya que es la única que puede sintetizar el organismo humano. No obstante, en determinadas circunstancias, la vitamina D no puede sintetizarse en cantidades adecuadas y debe suministrarse con la dieta o en forma de suplemento

dietético para el mantenimiento de la vida y de la salud. Las vitaminas actúan en sistemas enzimáticos que participan en el metabolismo de las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, entre otras funciones. Las vitaminas se clasifican en dos grandes grupos, liposolubles (A, D, E y K) cuya absorción depende de los lípidos de la dieta e hidrosolubles, entre las cuales se pueden mencionar a la vitamina C y a las del complejo B (Potter y Hotchkiss, 1995).

#### **4.1.5. Minerales**

Al igual que las vitaminas, algunos minerales son nutrientes indispensables para el buen funcionamiento del organismo humano y su carencia puede provocar serios problemas de salud. Una alimentación variada y balanceada aporta todos los nutrientes inorgánicos suficientes para satisfacer las necesidades del cuerpo humano, es la manera de evitar la deficiencia de cualquiera de éstos y otros nutrientes. Sin embargo, es práctica común la adición de algunos minerales, sobre todo de hierro, calcio, yodo y cinc. Adicionalmente, los distintos aditivos, como antiaglomerantes, emulsificantes, secuestradores, amortiguadores de pH, sales o polvos de horneado, etcétera, contribuyen al contenido de minerales en los alimentos (Badui, 2006).

Algunos minerales se reconocen como esenciales y a menudo se clasifican de acuerdo con la cantidad requerida. Esto no refleja de ninguna manera su importancia nutricional. Minerales como el calcio y el fósforo, que se requieren en cantidades de 100 mg/día o más, se han designado de manera arbitraria como macrominerales. Los microminerales, que están presentes o se requieren en pocas cantidades (menores a 100 mg/día) también se denominan oligoelementos. Colectivamente, los minerales representan cerca del 4 al 5% del peso corporal. Cerca de la mitad de este peso es calcio y otro cuarto es fósforo. Los otros cinco macrominerales (magnesio, sodio, cloro, potasio y azufre) y los 14 oligoelementos (hierro, cinc, cobre, yodo, manganeso, flúor, molibdeno, cobalto, selenio, cromo, estaño, níquel, vanadio y silicio) constituyen el 25% restante. Los minerales están en el cuerpo y los alimentos principalmente en la forma iónica. Los minerales también se presentan como componentes de compuestos orgánicos, como fosfoproteínas, metaloenzimas y hemoglobina (Mahan y Escott-Stump, 1998).

#### 4.1.5.1. Macrominerales

El Calcio, es el mineral más abundante en el cuerpo. El 99% del calcio está en los huesos y los dientes. El restante 1% está en la sangre y los líquidos extracelulares y dentro de las células de los tejidos blandos. Se requiere calcio en la transmisión nerviosa y en la regulación de los latidos cardiacos. El calcio inicia la formación de los coágulos sanguíneos. Sólo se absorbe del 20 al 30% del calcio ingerido y se absorbe solo si está en una forma hidrosoluble y no es precipitado por otro constituyente de la dieta, como los oxalatos. La vitamina D es esencial para la absorción del calcio. Los vegetales de hoja verde oscura, como col, nabo fresco, mostaza fresca y brócoli, así como también sardinas, almejas, ostiones y salmón enlatado son buenas fuentes de calcio. Leguminosas como el frijol y la soya son ricas en calcio (Mahan y Escott-Stump, 1998). La Ingesta Diaria Recomendada (IDR) por la normatividad, basada en la ponderación para la población Mexicana del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán” es de 800 mg de calcio diarios (INNSZ, 2001) pero en el caso de mujeres embarazadas y en lactancia esta cifra se incrementa hasta en un 50% (Badui, 2006).

Cerca del 80% del fósforo se presenta como cristales de fosfato de calcio en huesos y dientes. También, el fósforo se combina con el calcio para formar hidroxiapatita, el compuesto inorgánico más importante presente en dientes y huesos. El restante es muy activo metabólicamente y se distribuye en todas las células del cuerpo y en el líquido extracelular. En la forma de fosfolípidos, el fósforo está presente en todas las membranas celulares en el cuerpo. El sistema de amortiguación de fosfatos es importante en el líquido intracelular y en los túbulos renales, donde el fosfato participa en la excreción del ión hidrógeno. La mayor parte del fosfato se absorbe como fosfato inorgánico. El fosfato unido orgánicamente se hidroliza en la luz del intestino y se libera como fosfato inorgánico principalmente a través de la acción de la fosfatasa alcalina. La biodisponibilidad depende de la forma del fosfato y del pH. La vía primaria de excreción de fósforo es el riñón (Mahan y Escott-Stump, 1998).

Las buenas fuentes de proteínas también son buenas fuentes de fósforo. La carne, el pollo, el pescado y los huevos son excelentes fuentes. La leche y los productos lácteos constituyen buenas fuentes, al igual que las nueces y

leguminosas, los cereales y los granos (Mahan y Escott-Stump, 1998). La Ingesta Diaria Recomendada para el fósforo ponderada para la población Mexicana según el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán” es de 800 mg/día (INNSZ, 2001; Badui, 2006).

Cerca del 60% del magnesio se encuentra en los huesos, 26% en músculos y el restante en tejidos blandos y líquidos corporales. Cerca de la mitad del magnesio en el plasma está libre; aproximadamente una tercera parte se une a la albúmina y el restante forma complejos con citrato, fosfato y otros iones. La vitamina D mejora en cierto grado la absorción del magnesio. Es posible que la función más importante del magnesio sea estabilizar la estructura del ATP en las reacciones enzimáticas dependientes de ATP. Casi todas las enzimas que utilizan ATP requieren magnesio, es un cofactor para cerca de 300 enzimas que participan en el metabolismo de los componentes de los alimentos y en la síntesis de muchos productos. Participa en la transmisión y actividad neuromuscular, trabajando de acuerdo o en contra de los efectos del calcio. En la contracción muscular normal, el calcio actúa como un estimulante y el magnesio como un relajante (Mahan, *et al.*, 1998; Wardlaw, *et al.*, 2005).

Fuentes adecuadas de magnesio son las semillas, las nueces, las leguminosas, los granos de cereales no molidos, así como verduras verdes oscuras debido a que el magnesio se encuentra en la clorofila (Mahan, *et al.*, 1998; Wardlaw, *et al.*, 2005). La Ingesta Diaria Recomendada de magnesio para la población Mexicana es de 350 mg/día (INNSZ, 2001).

El sodio, cloro y potasio se distribuyen en todos los líquidos y tejidos corporales, pero el sodio y el cloro son elementos principalmente extracelulares, mientras que el potasio es más un elemento intracelular. El sodio, el potasio y el cloro participan en el mantenimiento de cuando menos cuatro importantes funciones del cuerpo: equilibrio y distribución del agua, equilibrio osmótico, equilibrio ácido-base y la irritabilidad muscular normal. El sistema de “bomba” de Na/K/Ca/ATPasa es importante en la regulación del volumen, el mantenimiento del potencial de membrana, el transporte de glucosa y el transporte de algunos aminoácidos que incluyen a la alanina, prolina, tirosina y triptofano. Los tres elementos se absorben

con facilidad a través del tracto intestinal y se excretan vía la orina, las heces y el sudor. Estos minerales se encuentran muy difundidos en la naturaleza y en la dieta ordinaria, ocurren excesos, en particular de sodio (Mahan y Escott-Stump, 1998).

La Ingesta Diaria de Referencia (del inglés *Reference Daily Intake*), establecida para vitaminas y minerales esenciales según la normatividad en Estados Unidos, para el ion cloruro es de 3400 mg aunque el requerimiento mínimo en adultos es de 700 mg diarios. Si se toma en cuenta que un adulto promedio consume diariamente cuando menos 7.5 gramos de sal, esto es equivalente a 4500 mg de cloruro, cantidad abundante de ese ion (Nielsen, 2003; Wardlaw, *et al.*, 2005).

El cuerpo humano necesita sólo alrededor de 100 mg de sodio y 2000 mg de potasio diarios. En el caso particular de los minerales sodio y potasio ya que aún no se conocen los requerimientos específicos, se cuenta con los requerimientos mínimos expresados como Valores de Referencia Diarios (del inglés *Daily Reference Values*) que son de 2400 y 3500 miligramos diarios para sodio y potasio respectivamente (Nielsen, 2003). La Administración de Alimentos y Drogas en Estados Unidos (FDA) estableció un valor diario de 2400 mg de sodio porque es compatible con informes del gobierno que fomentan consumos reducidos de sodio. El consumo regular de sodio en adultos suele ser el doble o más de esa cantidad (Wardlaw, *et al.*, 2005).

El azufre se presenta en el cuerpo como un constituyente de tres aminoácidos, cistina, cisteína y metionina. Por tanto, se haya presente en todas las proteínas, pero es abundante en la insulina y en la queratina de la piel, cabello y uñas. El azufre es un componente esencial de tres vitaminas: la tiamina, biotina y ácido pantoténico. Las fuentes alimentarias de azufre incluyen carne, aves, pescado, huevo, frijoles secos, brócoli y coliflor. El exceso de azufre se excreta en la orina (Mahan y Escott-Stump, 1998).

#### **4.1.5.2. Oligoelementos**

Los oligoelementos, oligominerales o microminerales “esenciales” se definen como aquellos para los que se ha demostrado mediante experimentos que cuentan con los diseños y corroboraciones adecuadas, que se requieren para la

ejecución óptima de una función particular. Cobre, manganeso, flúor, cromo, molibdeno, hierro, yodo, selenio y cinc son oligoelementos. Muchas enzimas requieren pequeñas cantidades de uno o más oligoelementos metálicos para la actividad completa. Estos microminerales pueden interactuar con el DNA para controlar la transcripción de importantes proteínas para el metabolismo de dicho oligoelemento en particular (Mahan y Escott-Stump, 1998).

Los oligoelementos se encuentran en alimentos tanto de origen vegetal como animal, sin embargo, cuanto más refinado es un alimento, menor es su contenido de los mismos. Durante el refinamiento del trigo entero para la obtención de harina, se pierde gran parte del contenido de oligoelementos tales como hierro, selenio, cinc y cobre. El enriquecimiento obligatorio de la harina de trigo reestablece el hierro pero no los otros oligoelementos (Wardlaw, *et al.*, 2005).

El cuerpo humano adulto contiene de 3 a 5 gramos de hierro, aproximadamente 2000 mg como hemoglobina y 8 mg como enzimas. El hierro se conserva bien en el cuerpo; aproximadamente el 90% se recupera y se reutiliza en forma extensa. Este mineral participa en el transporte respiratorio de oxígeno y dióxido de carbono y es parte activa de enzimas que actúan en el proceso de la respiración celular. También parece participar en la función inmunológica y en la función cognitiva. Participa en la función y síntesis de neurotransmisores y quizá de mielina (Mahan y Escott-Stump, 1998).

Los frijoles secos y las verduras son las mejores fuentes vegetales. Algunos otros alimentos que agregan hierro son yema de huevo, frutas secas, melaza oscura, panes de grano entero y enriquecido, vinos y cereales. La deficiencia del hierro es la deficiencia nutricional más frecuente, así como la causa más frecuente de anemia en niños y mujeres durante los años reproductivos en Estados Unidos y a nivel mundial (Mahan y Escott-Stump, 1998). Se ha establecido para la población adulta Mexicana una ingesta diaria de 15 miligramos de hierro (INNSZ, 2001; Badui, 2006).

El cinc se distribuye en todos los reinos vegetal y animal. Su abundancia ocupa el segundo lugar sólo después del hierro. Las concentraciones más

elevadas se hallan en el hígado, el páncreas, riñones, huesos y músculos voluntarios, algunas partes del ojo, la próstata, espermatozoides, piel, cabello y uñas. El cinc participa en reacciones que conllevan la síntesis o degradación de metabolitos mayores, como carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. También participa en la estabilización de proteínas y en la estructura de ácidos nucleicos y la integridad de organelos celulares, así como el proceso de transporte, función inmunológica y en la expresión de la información genética. El cinc aparece en la estructura cristalina de los huesos y en las enzimas óseas. Se piensa que sea necesario para la actividad osteoblástica adecuada; la formación de enzimas óseas, como la fosfatasa alcalina y la calificación. El cinc absorbido es captado inicialmente por el hígado antes de que se redistribuya hacia otros tejidos.

La carne, el pescado, las aves y la leche y sus productos proporcionan el 80% del cinc total de la dieta. Los ostiones, otros mariscos, las carnes rojas, el hígado, el queso, los cereales de granos enteros los frijoles secos, y las nueces también son fuentes de cinc. En general las dietas ricas en proteínas también son abundantes en cinc (Mahan, *et al.*, 1998; Wardlaw, *et al.*, 2005). La ingesta recomendada en México para este mineral es de 15 miligramos diarios (INNSZ, 2001; Wardlaw, *et al.*, 2005; Badui, 2006).

En el ser humano, las concentraciones más elevadas de cobre se presentan en hígado, cerebro, corazón y riñones. El músculo tiene una concentración baja, pero debido a su gran masa contiene aproximadamente el 40% de todo el cobre en el cuerpo. Cerca del 90% del cobre en el plasma se incorpora a la ceruloplasmina; el resto se une a albúmina, transcupreína y aminoácidos. El cobre es un componente de muchas enzimas. El cobre interviene en la oxidación del hierro antes de que se transporte en el plasma y en el eslabonamiento cruzado de la colágena necesario para su fuerza tensil. También actúa en la producción de energía mitocondrial, protección contra agentes oxidantes y síntesis de melanina y catecolaminas (Mahan y Escott-Stump, 1998).

Alimentos ricos en cobre son ostiones, hígado, riñón, chocolate, nueces, leguminosas secas, cereales, frutas secas, aves y mariscos. El contenido de cobre de la leche humana, se absorbe bastante bien. Se ha establecido una ingesta

dietética diaria que se estima segura y adecuada para el cobre de 1.5 a 3 miligramos para adolescentes y adultos (Mahan y Escott-Stump, 1998). En Estados Unidos, actualmente se ha establecido una ingesta diaria recomendada de 2 miligramos de cobre (Nielsen, 2003). El nivel máximo de cobre es de 10 mg/día, con base en el riesgo de daño hepático. Por lo general la toxicidad por este elemento en el hombre no es muy común porque los consumos no son muy altos debido a que el cuerpo regula el depósito de cobre a través de su excreción por la bilis (Wardlaw, *et al.*, 2005).

El yodo forma parte de las hormonas tiroideas y en los seres humanos es esencial para evitar la formación del bocio. Se encuentra en los alimentos de origen marino por lo que el pescado y la sal yodada, son las principales fuentes de este mineral. El yodo junto con el flúor se han utilizado para enriquecer la sal de mesa con concentraciones que van de 25 a 50 ppm (Potter, *et al.*, 1995; Badui, 2006). La ingesta diaria recomendada es de 150 microgramos diarios (INNSZ, 1996; Badui, 2006).

El ion fluoruro se necesita para el desarrollo de dientes definitivos resistentes a la caries. La suplementación del agua potable con aproximadamente 1 ppm de esta sustancia reduce la incidencia de este mal. El cobalto forma parte de la vitamina B<sub>12</sub>, aunque en los seres humanos, el cobalto no puede sustituir a esta vitamina por lo que debe ser obtenida de la dieta (Potter y Hotchkiss, 1995).

Los seres humanos necesitan otros elementos traza u oligoelementos, al menos en cantidades vestigiales, generalmente proporcionadas por las dietas normales. El manganeso es necesario para la estructura ósea normal, la reproducción y el funcionamiento del sistema nervioso central. El cromo se requiere para el metabolismo normal de la glucosa. El molibdeno se haya implicado en el metabolismo proteico y en las reacciones de oxidación. En ensayos en animales, se han puesto de manifiesto necesidades de selenio, níquel, estaño, vanadio, arsénico y sílice, pero todavía no se ha establecido su papel en la nutrición humana (Potter y Hotchkiss, 1995).



Las ingestas diarias recomendadas por la legislación de Estados Unidos son de 70 y 75 y 120  $\mu\text{g}/\text{día}$  para selenio, molibdeno y cromo respectivamente; 2 miligramos diarios para cobre y manganeso (Nielsen, 2003).

#### **4.2. Importancia nutricional de las leguminosas**

Con el término “leguminosas” se identifica a las semillas maduras, secas, limpias, sanas y separadas de la vaina (que constituye el fruto conocido como legumbre) provenientes de la familia de las leguminosas (familia *Fabaceae*) que resultan adecuadas para la alimentación. Se pueden diferenciar dentro de este grupo dos tipos de semillas muy diferentes entre sí en función de su contenido lipídico: aquellas cuyo contenido graso es elevado denominadas leguminosas “oleaginosas”, y aquellas cuyo contenido graso es inferior que son conocidas como leguminosas “secas o de grano”. Las leguminosas de grano con un bajo contenido graso son llamadas comúnmente “hortalizas” cuando se cocinan y consumen en su estado fresco, por otro lado, cuando se cocinan y consumen en estado seco se les considera una legumbre.

Entre las leguminosas de grano más consumidas a nivel mundial se encuentran principalmente, las judías, alubias, frijoles, habichuelas o mongetes siendo *Phaseolus vulgaris* la judía o frijol común, las lentejas (*Lens esculenta moench*), garbanzo (*Cicer aretinum L.*), guisante o chícharos secos (*Pisum sativum S.*), haba seca (*Vicia faba L.*), lupino o altramuza blanca (*Lupinus albus L.*), amarillo (*Lupinus luteus L.*), azul (*Lupinus angustifolius L.*) y leguminosas oleaginosas como la soja o soya (*Glycine max*) y el cacahuete o maní (*Arachis hypogaea*).

Las leguminosas se han utilizado en la alimentación humana desde el principio de los tiempos, dado su elevado valor nutritivo, su adaptación a diversas preparaciones y procedimientos culinarios y su larga vida de anaquel en estado seco debido a su tegumento o cáscara bastante impermeable que las aísla del medio exterior (Torija, *et al.*, 1999; Martínez, *et al.*, 2000).

El valor nutricional de las leguminosas se atribuye fundamentalmente a su elevado contenido de proteína, por lo que tradicionalmente se ha considerado a estas

semillas una importante y económica fuente de proteína vegetal, lo cual adquiere especial relevancia en aquellos países donde la ingesta proteico-calórica es baja. El valor biológico de la proteína en las leguminosas viene condicionado por niveles relativamente bajos de aminoácidos azufrados, como la metionina y la cistina, sin embargo, cuando las leguminosas coinciden con los cereales (que aportan proteínas complementarias) en la alimentación, se consigue que la calidad de la proteína de la dieta aumente. La cantidad de proteína en las leguminosas de consumo habitual en la alimentación humana puede oscilar entre un 17% para las judías y el 42% para la soya.

Además de ser una buena fuente de proteína, las leguminosas también pueden ser buenas fuentes de carbohidratos, lípidos, minerales y vitaminas. El contenido de carbohidratos de las leguminosas oscila entre el 26-29% en la soya y el 55-60% en las habas, siendo normalmente el almidón el carbohidrato mayoritario en estas semillas, aunque la soya contiene cantidades pequeñas de almidón. La humedad o contenido de agua de las leguminosas varía en función de la especie, del período de recolección, del clima, del almacenamiento, etcétera, y suele estar entre el 5 y 15% del peso total. (Martínez, *et al.*, 2000).

El contenido de grasa en las leguminosas es normalmente bajo (1-6%), a excepción de la soya (17-20%) y el cacahuete (40-50%), los cuales se consideran granos oleaginosos. La fracción de ácidos grasos predominante en todas las especies leguminosas es la insaturada, siendo por ejemplo, el ácido oléico el que predomina en las leguminosas consideradas como “oleaginosas” como el cacahuete. Las leguminosas (no oleaginosas) de consumo habitual aportan pequeñas cantidades de lípidos, pero de buena calidad, siendo los ácidos grasos predominantes el oléico (11-15%), el linoléico (25-63%) y el linolénico (1-27%), cuya naturaleza insaturada influye en las propiedades nutritivas de estas semillas (Matthews, 1989; Martínez, *et al.*, 2000; USDA, 2006).

Las leguminosas, cereales y otras semillas son buenas fuentes naturales de fitosteroles y contienen además cantidades apreciables de escualeno, tocoferol y generalmente su perfil de ácidos grasos es favorable desde un punto de vista cardio-protector (Ryan, *et al.*, 2007).

La presencia de minerales y vitaminas en las leguminosas está sujeta a variaciones interespecíficas. En general, se admite que son buena fuente de vitaminas del complejo B (tiamina, niacina y ácido fólico), y vitaminas liposolubles (A y E). Debido en gran parte, a los fertilizantes utilizados y a las diferencias en la composición del suelo, existe una notable variabilidad en el contenido de minerales dentro de las diferentes especies de leguminosas. Aunque algunas leguminosas representan una buena fuente de minerales, estos valores elevados en concentración no suelen ser igualados por una elevada biodisponibilidad en el caso de algunos de ellos. Esto es especialmente cierto en aquellas leguminosas que poseen un contenido elevado de ácido fítico, un compuesto que se ha reportado, impide la absorción de cationes multivalentes (calcio, magnesio, cinc y hierro). Aún así, la aportación de minerales a la dieta por parte de las leguminosas suele ser notable en relación con la de otros alimentos. Por otro lado destacan los valores considerablemente bajos de sodio en leguminosas (Matthews, 1989; Martínez, *et al.*, 2000; USDA, 2006).

El valor energético de las leguminosas depende de los niveles y la distribución de los nutrientes con capacidad combustible (lípidos, carbohidratos y proteínas). El aporte calórico oscila entre 280 y 400 kcal/100g, siendo las leguminosas oleaginosas las que poseen un mayor potencial energético. El contenido de humedad en las leguminosas varía en función de la especie, del período de recolección, del clima, del almacenamiento, etc., y suele estar entre un 5 y 15% (Martínez, *et al.*, 2000).

La ingestión de leguminosas en estado crudo como única fuente de proteína se ha relacionado con una serie de alteraciones fisiológicas, metabólicas e inmunológicas, que se atribuyen a la presencia en estas semillas, de factores o compuestos antinutricionales, que en algunos casos pueden afectar a la digestión, absorción y metabolismo de nutrientes. Dichas sustancias se pueden clasificar en termolábiles (fitohemaglutininas o lectinas, inhibidores de proteasas y heterósidos cianogénicos) y termoestables (taninos, isoflavonas, factores de flatulencia, fitatos y saponinas). La presencia de estos compuestos pierde relevancia si se considera que las variedades de leguminosas habitualmente utilizadas para consumo humano contienen cantidades pequeñas y por otro lado, los procesos tecnológicos y culinarios

de remojo y/o calentamiento destruyen a la mayor parte de los compuestos termolábiles (Matthews, 1989; Martínez, *et al.*, 2000).

Actualmente, las leguminosas no sólo tienen un interés nutricional, si no también terapéutico ya que estudios recientes han puesto en evidencia los efectos benéficos de algunos factores antinutricionales termoestables derivados del consumo frecuente de estas semillas en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares como la hipercolesterolemia (Kingman, 1991; Zulet, *et al.*, 1995; Potter, 1995; Carrol, 1995; Anthony, *et al.*, 1996; Frühbeck, *et al.*, 1997), carcinogénesis (Hawrylewicz, 1995; Kennedy, 1995; Persky, *et al.*, 1995; Rao, *et al.*, 1995; ) y la diabetes (Indar-Brown, *et al.*, 1992; Phillips, 1993; Geil, *et al.*, 1994; Anderson, *et al.*, 1994).

Por tanto, los efectos beneficiosos del consumo de leguminosas se atribuyen además de a sus proteínas, a las sustancias que las acompañan en la semilla, entre ellas la fibra dietética, las saponinas, las isoflavonas, el ácido fítico y otras (Anderson, *et al.*, 1994; Potter, 1995; Rao, *et al.*, 1995).

### **4.3. Descripción botánica del *Ebenopsis ebano* (Berland) Barneby & Grimes**

Las características taxonómicas, la clasificación dentro del reino *Plantae* y los nombres científicos y comunes reportados para el árbol de *Ebenopsis ébano* o “Ébano”, se mencionan enseguida.

### **4.4. Características taxonómicas**

#### **4.4.1. Aspecto y tamaño**

Son arbustos o usualmente árboles pequeños (hasta 15 metros de altura) con una capa redondeada de color oscuro y muy densa. Tronco oscuro, de hasta 60 centímetros de grosor pero usualmente solo de 10 centímetros, ramas cortas y fuertes, dispuestas en zigzag, bifurcadas, generalmente armadas con espinas estipulares verdaderas en la base de cada hoja, la corteza es de color gris pálido en las ramas jóvenes, inicialmente lisa pero llega a ser un poco agrietada (Correl y Johnston, 1970, *VT Forestry*, 2006).

#### **4.4.2. Hojas**

Alternas, compuestas, bipinadas, de 2.5 a 4.2 centímetros de largo, pinas 2 o 3 pares por hoja, de 1 a 2.5 centímetros de largo, con 3 a 6 pares de folíolos por pinna, de 0.6 a 1.0 centímetro de largo por 0.4 a 0.5 centímetros de ancho, oblongos a oblongo-obovados o anchamente obovados, glabros y/o esparcida y diminutamente ciliadas en los bordes; gándulas pediceladas presentes, una en cada inserción de pares de pinas (Estrada y Marroquín, 1992).

#### **4.4.3. Flores**

Blanco amarillentas, atractivas y aromáticas, dispuestas en racimos espigados, de 2 a 5 centímetros de largo, cilíndricas, densas cáliz ligeramente campanulado; la corola de aproximadamente 0.5 pulgadas de largo, mucho más grande que el cáliz, de 5 lóbulos; estambres numerosos, filamentos unidos en la base; ovarios glabrosos. La época de floración es de abril a julio (Vires, 1986).

#### **4.4.4. Fruto**

Vaina de 6 a 13 centímetros de largo y 1.8 a 3.0 centímetros de ancho, ligeramente aplanada, bivalvada, las valvas con coriáceas rectas a ligeramente curvadas, redondeadas y/o apiculadas en el ápice, persistentes por largo tiempo, tardíamente dehiscentes, internamente septadas. Semillas transversas en la vaina, separadas por delgados tejidos alrededor de 0.5 pulgadas de longitud y 0.25 pulgadas de ancho, marrón rojizas, con forma de frijol, de revestimiento grueso (Vires, 1986).

#### **4.4.5. Tallo**

Rojo oscuro a púrpura o marrón, muy durable, duro, pesado, con una gravedad específica de 1.04 (Vires, 1986).

#### 4.5. Clasificación

Según la USDA (2006), la siguiente, corresponde a la clasificación del árbol de *Ebenopsis ebano* (Berland) Barneby & Grimes dentro del reino *Plantae*.

Reino:	Plantae (plantas)
Subreino:	Tracheobionta (plantas vasculares)
Superdivisión:	Spermatophyta (plantas de semilla)
División:	Magnoliophyta (plantas de flor)
Clase	Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
Subclase:	Rosidae
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Género:	<i>Ebenopsis</i> Britt. & Rose
Especie:	<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland) Barneby & Grimes

#### 4.6. Nombres científicos

*Ebenopsis ebano* (Berland) Barneby & Grimes (USDA Plants, 2006)

*Chloroleucon ebano* (Berl.) (USDA Plants, 2006)

*Mimosa ebano* (Berl.) (USDA Plants, 2006)

*Phitecellobium ebano* (Berl.) Muller (Estrada y Marroquín, 1992)

*Phitecellobium flexicaule* (Benth.) Coult (Correl y Johnston, 1970)

*Ebenopsis flexicaulis* (Benth.) Brito & Rose (Turner, 1959)

*Siderocarpus flexicaulis* (Benth.) Small (Turner, 1959)

#### 4.7. Nombres Comunes

Texas Ebony

Mexican Ebony

False Acacia

Ébano

Maguacata o mahuacata

#### **4.8. Distribución geográfica**

Su rango de distribución comprende el estado norteamericano de Texas, se encuentra distribuido también en el Golfo de México, pero es abundante en los estados del noreste como Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila y otros como Baja California (Vires, 1986, Alanís, 1996).

En Texas desde las costas de la Ensenada de Matagorda hasta la planicie del Bajo Río grande. Abundante en el condado de Cameron. Comúnmente plantadas en las calles de Bronsville, Texas (Vires, 1986).

Poblaciones de ébano son reportadas por González Sánchez (1985) en los municipios de Anáhuac, Sabinas Hidalgo, Garza García y Monterrey, en el estado de Nuevo León. Árboles aislados de *Ebenopsis ebano* han sido detectados en diversas zonas de los municipios de San Nicolás de los Garza, Guadalupe, Monterrey y General Terán en Nuevo León (González-Quijada, 1996).

Árboles de ébano han sido observados por el autor en zonas recreativas y de estacionamiento en el municipio de Santa Catarina en Nuevo León, elegidos por ser una especie endémica de la región, sus características de resistencia a la sequía y a suelos alcalinos previamente mencionadas.

#### **4.9. Usos potenciales en alimentación y otros rubros**

Varios autores coinciden al mencionar los usos actuales del ébano. Así, refieren que su madera, debido a su dureza y durabilidad, se utiliza para obtener postes, fabricación de muebles y gabinetes, mangos para cuchillería fina, en construcciones marinas, armazones de casas y puentes de caminos, se usa también como combustible, obteniéndose carbón de alta calidad, etc. Es frecuentemente plantado como árbol de sombra y con fines ornamentales (González, 1996).

Las semillas del ébano (conocida en las localidades del noreste del país como maguacata o mahuacata) son consumidas por muchas comunidades de la República Mexicana, particularmente del noreste del país. Las consumen cocidas cuando están

verdes (tiernas), y tostadas en comal cuando maduras, éstas últimas enteras (sin la testa, o cáscara) o molidas para ser mezcladas con café o como sustituto del mismo (Morales, S., 2006). También se utilizan las semillas para confeccionar artículos de joyería (Correl y Johnston, 1970; Vires, 1986; Rocas, 1990).

Respecto al uso de la semilla en la alimentación humana, el consumo de la misma como complemento alimenticio es tradición en muchas zonas rurales del estado de Nuevo León, principalmente aquellas ubicadas dentro de su rango de distribución, como por ejemplo el municipio de General Terán. En las poblaciones del mencionado municipio la semilla es comercializada cocida verde y tostada madura, en ambas formas se consume sin la cáscara o cubierta o testa (González, 1996).

Potencialmente el ébano puede ser usado como productor eficiente de vainas y semillas, siguiendo el modelo de aprovechamiento agrícola propuesto por Felker y Bandursky (1979) para *Prosopis spp.* Sustancias tales como resinas, taninos, aminoácidos, etc. Contenidas en las vainas y semillas, pueden ser utilizadas en procesos industriales muy variados. (Estrada López, 1995).

Tomando como base la composición química proximal y el perfil aminoacídico de la semilla cruda de ébano (Giral *et al.*, 1978; González 1996, 1998, 2003), ésta puede ser considerada una fuente potencial de alimento para humanos y animales, y después de su evaluación nutricional y de algunos estudios de orden tecnológico, podría ser usada para consumo masivo, ya sea en su forma natural, procesada o suplementada con otros nutrientes. Además, la totalidad de la semilla o alguno de sus componentes también podrían tener aplicación en la industria de alimentos como ingredientes (González, 1996, 1998, 2003).

La semilla de *Ebenopsis ebano* podría ser una materia prima potencial para su empleo como agente terapéutico en el tratamiento de padecimientos diversos. Del mismo modo en el que se ha reportado para otras leguminosas, recientemente se ha determinado la actividad antioxidante, antibiótica, antitumoral e inmunorreguladora en extractos de la semilla de Ébano con resultados positivos bastante alentadores (Gómez-Flores, 2009; Gracia-Vázquez, 2009).



#### **4.10. Composición química y valor nutricional de la semilla madura cruda de *Ebenopsis ebano* (Berland) Barneby & Grimes**

##### **4.10.1. Composición proximal y aporte de fibra dietética**

González (1998) reportó un contenido promedio de proteína cruda de las semillas de ébano maduras crudas de 35.56% en base húmeda. También reporta un 24.57% y 12.74% de grasa y fibra dietética total respectivamente. Destacan los valores de grasa y proteína crudas en las semillas de ébano maduras, ya que son superiores a las presentes en otras leguminosas como el frijol común y comparables a los de la soya (Martínez, *et al.*, 2000; USDA, 2006).

##### **4.10.2. Composición aminoacídica**

La composición aminoacídica de la semilla de ébano reportada por González (1996) se muestra en la tabla 1 y presenta valores ligeramente más altos para los aminoácidos esenciales (excepto triptofano) que los reportados por Giral, *et al.* (1978) para la misma leguminosa.

Estos resultados indican que los aminoácidos esenciales lisina, leucina y valina están presentes en cantidades relativamente altas en las semillas de ébano; mientras que los azufrados (metionina + cistina) y triptofano se encuentran en niveles bajos de contenido (González, 1996). Los niveles de aminoácidos azufrados en las semillas de ébano maduras crudas reportados por González (1996), son de 1.41 g/100 g de proteína.

Tabla 1. Composición aminoacídica de la proteína en los cotiledones de la semilla madura, cruda y sin testa de <i>Ebenopsis ebano</i> (González, 1996).	
Aminoácidos esenciales (mg/g de proteína)	Semilla madura cruda y sin testa
Isoleucina	34.3
Leucina	67.8
Lisina	62.2
Metionina	7.6
Cistina	6.5
Fenilalanina	13.2
Tirosina	41.5
Treonina	28.1
Triptofano	7.1
Valina	51.5
Histidina	16.7
Aminoácidos no esenciales (mg/g de proteína)	Semilla madura cruda y sin testa
Ácido aspártico	81.9
Serina	35.3
Ácido glutámico	147.9
Prolina	40.6
Glicina	39.3
Alanina	38.4
Arginina	42.8

#### 4.10.3. Contenido de compuestos antinutricionales

Las semillas de leguminosas contienen en su estado natural diversos factores antinutricionales que disminuyen el aprovechamiento de nutrientes y pueden causar problemas de salud para el hombre. Afortunadamente éstos efectos negativos son eliminados o reducidos con un tratamiento térmico (González, 1998, 2003).

El ácido fítico, con seis grupos fosfato en su molécula, concentra buena parte del fósforo en los tejidos vegetales, sin embargo, en esta forma, el fósforo no está disponible para humanos ni animales monogástricos. Aunque son posibles nueve estereoisómeros de inositoles, solamente el mioinositol hexafosfato ha sido aislado en cereales, nueces y leguminosas conteniendo grandes cantidades, no encontrándose en tejidos animales (Oberleas, 1973).

Reddy y colaboradores (1987) consideran que los fitatos constituyen la principal forma de almacenamiento de fósforo en leguminosas secas donde se hayan formando complejos con cationes mono y divalentes, concentrando alrededor del 80% del fósforo total. Según los mencionados autores, la mayor parte del fitato en las leguminosas secas se encuentra en los cotiledones y no en la cubierta de la semilla.

El contenido de fitatos reportado por González (1996) para los cotiledones de la semilla de *Ebenopsis ebano* fue de 27.23 mg/gramo y la cantidad de ácido fítico en base seca de 26.69 mg/gramo de muestra, cantidad mayor que la encontrada por Reddy y Salunkhe (1981) en semillas completas de frijoles negros (17.04 mg/g) y similar a la determinada por Reddy y Pierson (1987) en frijoles comunes de la variedad Gran Norteño (27.0 mg/g).

La reducción de ácido fítico en los cotiledones de la semilla de ébano madura por efecto del calor por tostado fue en promedio de 23.54%, por tanto la reducción de fitatos por la acción del calor puede ser la explicación a las diferencias altamente significativas encontradas en los contenidos de ácido fítico de la semilla de ébano madura cruda y madura tostada (González, 1996).

Los inhibidores de proteasas son por lo general proteínas de bajo peso molecular que se asocian con enzimas proteolíticas y forman un complejo estable sin actividad catalítica. De estos inhibidores uno de los más conocidos y estudiados es el inhibidor de tripsina (o inhibidor de Kunitz). Una molécula del inhibidor interactúa estequiométricamente con una de tripsina neutralizándola. El inhibidor de tripsina tiene una gran estabilidad, pero se desnaturaliza al calentarlo a temperaturas superiores a 80 °C. En ocasiones, cuando el tratamiento térmico no es suficiente, puede regenerar su estructura terciaria y recuperar su función (Badui, 2006).

La cantidad de inhibidores de tripsina encontrada en las semillas maduras crudas de *Ebenopsis ebano* según González- Quijada varía entre 215.8 y 235.3 Unidades de Inhibidores de Tripsina por miligramo de muestra (UIT/mg), en base seca. Cantidades similares (240 UIT/mg muestra) fueron reportadas por Giral y colaboradores (1978) para semillas de la misma leguminosa silvestre. Sin embargo, debido a la naturaleza termolábil de los inhibidores de tripsina, la actividad de los mismos disminuyó a un promedio de 12.58 UIT/mg en las semillas de ébano maduras tostadas. La actividad del inhibidor se redujo por tanto, en un 94.47%. Según González (1996), el contenido de humedad del alimento influye en el grado de destrucción de los inhibidores de tripsina, siendo ésta más efectiva conforme mayor sea el contenido de humedad.

#### **4.10.4. Contenido de compuestos antioxidantes**

Cabe mencionar el caso particular de los taninos, que aunque históricamente fueron considerados como compuestos antinutricionales, recientemente se han reconocido las propiedades antioxidantes de éstos compuestos fenólicos que proporcionan beneficios a la salud (Bravo, 1998).

Los taninos son compuestos fenólicos incoloros o de color amarillo-café, que de acuerdo a su estructura y reactividad con agentes hidrolíticos se han clasificado en dos grupos: los hidrosolubles y los no hidrosolubles o condensados (Badui, 1999). Los primeros se hidrolizan rápidamente por acción de enzimas o ácidos, siendo los productos de la hidrólisis la glucosa, ácido gálico, ácido elágico, de acuerdo a su composición. Los segundos son compuestos flavonoides, generalmente dímeros de la

catequina o de antocianidinas. Estos taninos condensados no se destruyen fácilmente bajo condiciones fisiológicas y cuando son tratados drásticamente producen ambos polímeros poco solubles (Singleton y Kratzer, 1973).

Como componente de los alimentos, los taninos reducen el valor biológico de las proteínas de las dietas, debido a que forman complejos insolubles o inactivos con ellas y con enzimas digestivas. Los taninos se encuentran principalmente en las semillas de ciertos cultivares pigmentados de sorgo y de leguminosas, habiéndose observado en éstas últimas grandes diferencias en cuanto a su contenido, entre especies y entre el mismo genotipo (Deshpande y Cheryan, 1985).

El contenido de taninos en los cotiledones de la semilla de ébano madura cruda reportado por González (1996) es de 13.76 mg equivalentes de catequina/100 gramos de muestra (14.25 mg en base seca). Estos valores son mas bajos que los reportados por Chang y colaboradores (1994) en los cotiledones de chícharos (*Vigna unguiculata*).

Según González (1996) las cantidades de taninos aumentaron en las semillas maduras tostadas con respecto a las crudas. Explicó que este incremento se debió al tratamiento térmico (tostado a 80-90°C durante 10 minutos) al que fue sometida la semilla, deduciendo que ocurre una migración de los taninos de la testa a los cotiledones durante el tostado (González, 1996).

Debido a que en el presente estudio se utilizaron los cotiledones de la semilla madura cruda y sin testa, se considera que al no existir esta migración de taninos de la testa (cáscara) a los cotiledones, la concentración de los mismos en la harina de ébano es baja (13.76 mg equivalentes de catequina/100g) y que debería ser aún mas baja en el producto horneado por la acción del calor y el elevado contenido de humedad en el mismo.

#### **4.10.5. Calidad protéica**

Las proteínas poseen un papel fundamental en la nutrición, ya que proporcionan nitrógeno y aminoácidos que podrían ser utilizados para la síntesis de

proteínas y otras sustancias nitrogenadas. Cuando se ingieren aminoácidos en exceso o cuando el aporte de carbohidratos y grasa de la dieta no es suficiente para cubrir las necesidades energéticas, las proteínas se utilizan para la producción de energía (Badui, 2006).

Existen dos factores que determinan el valor nutricional de fuentes proteínicas en cuanto a que éstas cubran los requerimientos de nitrógeno y aminoácidos garantizando un crecimiento y mantenimiento adecuado del individuo, que son: el contenido proteínico y la calidad de la proteína. En lo referente a la calidad de la proteína, ésta depende tanto de la proporción de aminoácidos indispensables que contiene en relación con los requerimientos humanos, como de la biodisponibilidad de los mismos, término que se refiere a la capacidad para incorporar aminoácidos de la dieta a las estructuras corporales y que puede verse afectada tanto por una mala digestibilidad como por una absorción incompleta (Badui, 2006).

La digestibilidad se define como el porcentaje del nitrógeno ingerido que es absorbido por el organismo (FAO/WHO, 1989). Aunque el patrón de aminoácidos de una proteína sea probablemente el determinante más importante de su calidad, la digestibilidad de la misma y la biodisponibilidad de los aminoácidos que la constituyen son los siguientes factores a considerar en la evaluación proteica, debido a que no todas las proteínas son digeridas, absorbidas y utilizadas en la misma medida. Las diferencias en la digestibilidad de las proteínas pueden atribuirse a la naturaleza de la fuente proteínica, a la presencia de constituyentes no proteicos en el alimento tales como fibra dietética y compuestos antinutricionales que disminuyen la digestibilidad o por condiciones de procesamiento que alteran la relación de aminoácidos de las proteínas por cambios enzimáticos (FAO/WHO, 1989).

La digestibilidad verdadera *in vivo* de la proteína de las semillas de ébano maduras crudas es de 79.3 % (González, 1996), aunque por efecto del tostado, la digestibilidad de las semillas maduras tostadas de ébano se incrementó significativamente hasta 91.8 %. Este aumento puede deberse a la destrucción casi completa (más de 90%) de los inhibidores de tripsina en los cotiledones de la semilla madura cruda, reducción parcial del contenido de fitatos (aproximadamente 25%) en la misma y la desnaturalización de su proteína por acción del calor (González, 1996).

## **4.11. El trigo y sus productos**

### **4.11.1. Características y composición de la harina de trigo**

El trigo es el cereal más importante en la producción de harina para hacer pan. Se cultivó primero en el Medio Oriente, pero en la actualidad se cultiva en todo el mundo (Kirk, et al. 1999). Se cultiva en dos épocas del año, invierno y primavera. De entre los cereales, el trigo es único, para el tipo de productos que se obtienen de él. Por ejemplo, la harina de trigo es la única que producirá pan, pasteles, galletas o pasta de buena calidad. Existen muchos diferentes tipos de cultivos de trigo alrededor del mundo, sin embargo, pueden ser generalmente clasificados en tres tipos (Hoseney y Seib, 1978).

Los trigos para pan son generalmente trigos duros y de relativamente alto contenido de proteína. Pueden tener hábitos de primavera o invierno, y ambos colores rojo y blanco son cultivados. La designación de “trigo duro” es un término descriptivo; el trigo es físicamente duro. La dureza está bajo control genético y es resultado de la fuerza de unión entre la proteína y el almidón en el endospermo.

En los trigos suaves por otro lado, la unión entre la proteína y el almidón es débil, y se produce a partir de éstos, harina con tamaño de partícula pequeño y un bajo nivel de almidón dañado durante la molienda. Los trigos suaves tienen un bajo contenido de proteína y producen harinas ideales para galletas y pasteles. Los trigos suaves pueden ser de variedades de primavera o invierno, y se cultivan tanto rojo como blanco. En muchas partes del mundo, son utilizados trigos suaves con un mayor contenido de proteína para la producción de pan (Hoseney y Seib, 1978; Chavan 2003).

En general, los trigos para pasta o tipo durum (extrafuerte) son preferidos para la elaboración de pasta. Son trigos más duros que el trigo duro común, por lo cual, en las harinas obtenidas de estos (harinas extrafuertes) el daño al almidón es muy alto. Por tanto, el trigo durum es molido usualmente a semolina y esta es usada para la producción de pasta. Trigos durum rojo y blanco (ámbar) son cultivados, pero las variedades ámbar son preferidas para la producción de pasta. Muchos de los

trigos “durum” son primaverales aunque se conocen también los invernales. Este tipo de trigo no producirá un pan de calidad satisfactoria, sin embargo es usado para tal fin en algunas partes del mundo (Hoseney y Seib, 1978).

La harina de trigo es un ingrediente básico en los productos de panificación, generalmente existen disponibles en el mercado mezclas de diferentes variedades de este cereal, como ejemplo la llamada harina “todo propósito” (Chavan y Kadam, 1993). La calidad de la proteína del trigo es inferior que la de otros cereales. Esto se debe principalmente al bajo contenido de lisina, metionina y treonina de su proteína (Chavan y Kadam, 1993).

La composición de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) varía considerablemente de acuerdo con la clase de trigo, a su país de origen o la proporción de partes externas eliminadas durante el proceso de molienda. Una buena calidad en la panificación es una de las más importantes características de la harina para pan. Actualmente la calidad de panificación de una harina puede ser definida en términos del volumen del pan producido con tal harina.

Aunque un alto volumen de la pieza de pan no necesariamente indica que ésta sea buena, un volumen bajo indicará una calidad pobre de la harina. Lo más deseable es el obtener el mayor volumen de la pieza de pan consistente con una buena calidad de la miga. El volumen de una pieza de pan está determinado por la cantidad y calidad de la proteína en la harina (Hoseney y Seib, 1978).

La composición proximal y contenido nutrimental de la harina de trigo blanca, todo propósito, con un 10.33% de proteína, blanqueada y enriquecida, similar a la que se usó como ingrediente en este estudio se muestra en el apéndice. La composición aminoacídica de la proteína en la misma harina se muestra en la tabla 2.



Tabla 2. Composición aminoacídica de la proteína en la harina de trigo todo propósito, blanca, enriquecida (USDA, 2006).	
Aminoácidos esenciales (mg/g de proteína)	Harina de trigo
Isoleucina	34.7
Leucina	68.9
Lisina	22.1
Metionina	17.8
Cistina	21.3
Fenilalanina	50.5
Tirosina	30.3
Treonina	27.3
Triptofano	12.3
Valina	40.3
Histidina	22.3
Aminoácidos no esenciales (mg/g de proteína)	Harina de trigo, blanca, todo propósito
Ácido aspártico	42.2
Serina	50.1
Ácido glutámico	337.8
Prolina	116.3
Glicina	36.0
Alanina	32.2
Arginina	40.5

#### 4.12. Productos de panadería

Numerosos productos horneados son elaborados con harina. En la preparación de los productos para hornear, la harina se combina con el líquido para formar un batido o una masa. Los batidos con una relación harina:líquido de 1:1 (panecillos de huevo y bollos de crema) son bastante delgados y difíciles de verter. Un batido de “gota” tiene una relación de 2:1, dos partes de harina por una de líquido (muffins o panqués). Las masas son bastante rígidas para manipularse. Las masas suaves tienen tres partes de harina y una de líquido (bollos, pan de levadura). Una proporción mayor de harina a líquido da lugar a una pasta dura como en el caso de las galletas, masa para pastelería y tallarines. La mayoría de los batidos y masas y los productos horneados en base a ellas, son espumas. El tamaño y la forma de las células de gas determinan la consistencia del producto horneado. La textura está influenciada principalmente por el carácter del material que define y rodea las células de gas (Charley, 2006).

Los bizcochuelos, panqués o muffins son alimentos elaborados con tres ingredientes principales: harina, huevo y azúcar y se caracterizan por tener un desarrollo de los alvéolos producido por el aire incorporado durante el batido y su expansión durante la cocción. La calidad de la harina juega un papel fundamental en la calidad final del producto (Yamamoto, *et al.*, 1996).

Los productos de panificación que no requieren gran desarrollo de gluten, como galletas o bizcochos (muffins), son elaborados generalmente con harinas de trigos blandos o suaves (Doescher y Hosney, 1985).

Según la normatividad mexicana vigente (NOM-247-SSA1-2008), se define como “productos de panificación” a los obtenidos de la mezcla de harinas de cereales o harinas integrales o leguminosas, agua potable, fermentados o no, que pueden contener: mantequilla, margarina, aceites comestibles, grasas vegetales, sal, leudantes, polvo de hornear y otros aditivos para alimentos, especias y otros ingredientes opcionales tales como, azúcares, mieles, frutas, jugos, granos y semillas comestibles, entre otros; sometidos a proceso de horneado, cocción o fritura; con o

sin relleno o con cobertura, pueden ser mantenidos a temperatura ambiente, en refrigeración o en congelación según el caso.

En este mismo documento se define a un “pastel o panqué” como el producto que se somete a batido y horneado, preparado con harinas de cereales o leguminosas, azúcares, grasas o aceites, leudante y sal; adicionada o no de huevo y leche, crema batida, frutas y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos. Esta última definición abarca al producto de panificación (muffin) elaborado en el presente estudio.

#### **4.12.1. Ingredientes para los panes rápidos y sus funciones**

##### **4.12.1.1. Harina**

La harina le da a los batidos y masas su estirabilidad o elasticidad, una característica que las hace retener el gas o los gases esponjantes (denominados también leudantes). También contribuye con estructura o rigidez a los productos horneados. Esta rigidez se debe al gluten, que se coagula por el calor, y al almidón, que se gelatiniza. Las harinas difieren en la cantidad y la calidad del gluten que producen y esto, a su vez, afecta la capacidad para fijar o mantener la humedad.

##### **4.12.1.2. Líquido**

Un ingrediente líquido es esencial para disolver el azúcar, la sal, el bicarbonato y el ácido del polvo de hornear. En el agua, el bicarbonato y el ácido se ionizan, después de lo cual, pueden reaccionar para liberar el dióxido de carbono. El agua es necesaria para hacer que los gránulos de harina se unan. El agua hidrata la proteína de la harina, un paso preliminar al desarrollo del gluten. También hidrata el almidón y hace posible su gelatinización durante el horneado. El vapor de agua formado durante el horneado sirve como un agente leudante o de esponjamiento.

##### **4.12.1.3. Grasa**

La grasa se adiciona a los batidos y masas para ablandar el producto. Esto se logra en parte, repeliendo el agua de los gránulos de la harina. También lubrica las bandas formadas de gluten y permite el deslizamiento entre ellas.

#### **4.12.1.4 Azúcar**

Además de contribuir a la dulzura, el azúcar contribuye también a la suavidad del producto horneado ya que disminuye la capacidad de la harina para captar agua e interfiere en la formación del gluten, aunque en menor grado que la grasa. El azúcar sirve como medio para incorporar aire en la grasa y en el batido así como también al desarrollo del color característico (tostado) de este tipo de productos mediante la reacción entre los azúcares reductores y las proteínas (reacción de Maillard).

#### **4.12.1.5. Huevo**

El huevo batido sirve como medio de incorporación de aire en los batidos y masas. La proteína del huevo, contribuye a la elasticidad del batido y contribuye a la estructura del producto horneado, principalmente en muffins (panqués), panecillos de huevo y bollos de crema. La yema del huevo aporta de lecitina, un emulsificante natural al batido (Charley, 2006).

#### **4.12.1.6. Polvo para Hornear (agente leudante)**

Estos productos, también llamados “leudantes químicos” o “levaduras químicas”, son mezclas de distintos compuestos que tienen la propiedad de generar dióxido de carbono cuando se exponen al agua. Por esta razón se emplean en la panificación cuando no se lleva a cabo la fermentación del pan del modo tradicional con levaduras.

Los polvos para hornear están constituidos por bicarbonato de sodio (que se descompone en dióxido de carbono y agua en presencia de ácidos) y un ácido o una sal ácida. El gas generado ejerce una presión en el interior de la red tridimensional de proteína y carbohidratos del gluten, lo que hace que el pan se expanda y se esponje. Es muy importante que las burbujas de gas formadas sean abundantes, pequeñas y que se distribuyan homogéneamente (Badui, 2006). Existen los denominados polvos de hornear de “doble acción” (o polvo de hornear SAS-fosfato), éste término se refiere a la liberación secuencial del CO<sub>2</sub>, primero en la masa por el fosfato ácido soluble en agua fría y luego durante el horneado por el ácido derivado del sulfato de aluminio sódico (abreviado SAS). Esto significa que parte del CO<sub>2</sub> se libera durante la mezcla, pero que la mayor proporción se libera

solo hasta después de que el producto se ha calentado en el horno y se ha formado el ácido.

El agente leudante es la fuente del gas de esponjamiento, además del aire incorporado al batido y el vapor de agua formado durante el horneado. El gas producido por la reacción del bicarbonato y el ácido del polvo de hornear no sólo aumenta el volumen, si no que es responsable en parte de la consistencia de un producto horneado. Las burbujas de gas formadas en el batido o masa y lo convierten en una espuma. La cantidad y distribución del gas determina si los agujeros en la masa son grandes o pequeños, redondos e intactos o grandes. La capacidad de la masa para estirarse y retener el gas leudante a medida que este se libera y se expande al calentarse, es muy importante para determinar el volumen y la consistencia del producto horneado, así como la cantidad de leudante que lleva el batido (Charley, 2006).

Cada formulación comercial de polvo para hornear produce distintos volúmenes de gas a diferentes velocidades, por lo que existen en el mercado distintos productos, para cana necesidad en la industria panificadora. En general, se prefieren las mezclas que liberen el anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) durante el horneado y no cuando se efectúa el mezclado de todos los ingredientes (Badui, 2006).

#### **4.12.1.7. Otros Ingredientes**

La sal no solo se utiliza para mejorar el sabor de este tipo de productos, si no que también influye en la velocidad y el grado de hidratación de la harina (Charley, 2006). La goma arábiga, que también recibe el nombre de goma acacia (extraída de árboles de *Acacia senegal*), es un heteropolisacárido muy ramificado formado por una cadena principal de unidades de beta-galactopiranosas a la cual se le unen residuos de L-ramnopiranosas, L-arabinofuranosas y de ácido glucurónico. La influencia de sus grupos ácidos hace que la viscosidad de sus dispersiones se vea afectada por la adición de ácidos o de álcalis, y por la presencia de cationes. Sus principales características son su alta solubilidad en agua (hasta 50%) y la baja viscosidad que desarrolla. Además de ser un agente espesante, estabiliza emulsiones, por lo que al igual que otros agentes emulsionantes utilizados en panadería, se considera a las gomas como agentes mejoradores del pan (Badui, 2006).

#### **4.12.2. Balance de los ingredientes**

Los ingredientes en cualquier producto horneado deberían estar en un balance razonable. Los ingredientes estructurales, como la harina y el huevo, se balancean contra los ingredientes suavizantes o aquellos con estructura débil como la grasa y el azúcar. Además los ingredientes líquidos, huevo, leche y grasa, se balancean contra los ingredientes secos, principalmente la harina. Los ingredientes no necesitan estar en un balance perfecto, existe un intervalo en las proporciones de los ingredientes, en el cual todavía una receta (formulación) puede elaborar un producto aceptable, esto ha permitido el desarrollo de un infinito número de nuevas recetas (Charley, 2006).

#### **4.12.3. Manipulación y Mezclado de los Ingredientes**

Cuando se combinan los ingredientes para un batido o masa intervienen un gran número de factores en el éxito de la operación. Las técnicas utilizadas para preparar los panes rápidos deben ser apropiadas para los ingredientes utilizados y para los resultados deseados. Los tazones y demás utensilios deben ser de un tamaño y forma apropiados. Los tazones para mezclar deben ser redondos y tener paredes con una ligera inclinación en lugar de una curva pronunciada. Aunque la base del tazón debe ser amplia para prevenir un sobre mezclado, la base interior debe ser estrecha, de otro modo es difícil la combinación completa de los ingredientes.

El término “batir” significa combinar con un movimiento circular alrededor del tazón o recipiente, ya sea para suavizar o rápidamente para incorporar aire. Las cucharas en forma de pala y de materiales diferentes al aluminio y madera (Ej. Teflón) son mejores para batir a punto de crema y mezclar batidos, aunque también puede utilizarse una batidora rotatoria, manual o eléctrica. Batir a punto de crema, se refiere a la grasa y al azúcar. Los cristales de azúcar son trabajados en la grasa para incorporar aire, lo que resulta en una espuma. Los ingredientes líquidos y secos se combinan batiéndose (Charley, 2006).

#### **4.13. Proceso de Horneado**

El utensilio para hornear debe situarse en el centro del horno ya que es probable que la temperatura sea más uniforme en este sitio. La mayoría de los panes rápidos (Ej. Muffins o panqués) se hornean en un horno caliente, al menos durante la primera parte del periodo de horneado. La temperatura del horno y el tiempo de horneado dependen del tamaño, forma y el material del que está fabricado el utensilio de hornear. El calor de las corrientes de convección que se forman dentro del horno, se transmite al recipiente y se mueve hacia el centro del producto principalmente por conducción, un proceso lento, y que después se hace más lento por las innumerables burbujas de gas en el batido. La temperatura en el interior de un producto horneado es aproximadamente la del punto de ebullición del agua aunque el alimento se hornee en un horno caliente.

En las primeras etapas del horneado la grasa comienza a derretirse si no se encuentra líquida. La mezcla se hace más fluida, las sustancias solubles en agua caliente comienzan a disolverse y el polvo para hornear continúa formando  $\text{CO}_2$ . El calor causa que tanto el dióxido de carbono como el agua en el batido se expandan y que las proteínas del huevo y la harina se comiencen a coagular a medida que aumenta la temperatura de la mezcla. El almidón comienza a gelatinizarse. Parte del agua se convierte en vapor, lo que proporciona un esponjamiento adicional e infla más el producto. Cuando el calor penetra al interior, la estructura del producto horneado se asienta, debido a la coagulación de la proteína y a la gelatinización del almidón. Finalmente, la evaporación del agua de la superficie se hace más lenta y la superficie se torna lo suficientemente caliente para tostarse adquiriendo su color dorado característico (Charley, 2006).

##### **4.13.1. Elaboración de muffins regulares (panqués o mantecadas)**

Los muffins o panqués están hechos de un batido de dos partes de harina para todo uso (o todo propósito) con una parte de líquido. En este tipo de productos, el polvo para hornear debe cernirse con la harina o mezclarse completamente para asegurar una distribución uniforme. Esto es esencial para formar células de gas uniformes, es decir, el grano en el migajón (o miga) del muffin horneado. El huevo y

la leche deben mezclarse completamente pero sin llegar a formar una espuma. La proteína del huevo se necesita principalmente como un ingrediente estructural o de fijación y no como medio para incorporar aire. Si el huevo no se mezcla completamente con la leche, se distribuirá desigualmente y el migajón alrededor de las celdas de gas será grueso y burdo.

La relación de líquido a harina en el batido del muffin, es ideal para el desarrollo del gluten, especialmente cuando se utiliza harina todo propósito. El batido del muffin requiere algo de gluten para tener las propiedades de retención de gas esenciales para lograr un buen volumen en el producto horneado. Sin embargo es fácil sobrebatar el batido del muffin y desarrollar más gluten del deseado. El batido de este tipo de productos debe batirse solo lo suficiente para humedecer escasamente los ingredientes secos. A pesar de todo se formarán grumos. De lo contrario se formará mucho gluten y el batido será demasiado elástico. Las burbujas de dióxido de carbono atrapadas en un batido demasiado elástico se retendrán y se harán muy grandes. Confinadas por las paredes del recipiente del muffin, la única forma en que las burbujas se pueden expandir, es hacia arriba. Así, tienden a orientarse desde el fondo hacia lo más alto del muffin. Estas células de gas alargadas se llaman “túneles”.

Una vez que el batido del muffin ha sido mezclado, se debe transferir a los recipientes de horneado engrasados o con teflón, en un solo movimiento, de otra forma, la mayor parte del dióxido de carbono generado dentro del batido se perderá durante la transferencia. El batido puede permanecer en el recipiente de hornear durante varios minutos antes de hornearse, sin detrimento de la calidad del producto horneado.

Los muffins o panqués se hornean en un horno caliente, es decir, a temperaturas de hasta 218 °C. El tiempo de horneado depende del tamaño de los recipientes o moldes del muffin, del material del que están contruidos y su diámetro así como de la temperatura. El diámetro pequeño y la alta temperatura pueden contribuir a la formación de túneles. Los muffins pueden ser removidos más fácilmente de los moldes si se les permite permanecer en reposo durante un minuto o dos después de salir del horno. El vapor que se condensa facilita su remoción, pero si



se dejan mucho tiempo, se humedecerán. Para evitar la condensación de la humedad, al enfriar los muffins deberán colocarse en un plato y cubrirse con algún material adsorbente como papel o tela.

#### **4.13.1.1. Características de los muffins regulares**

Los muffins o panqués (mantecadas) tienen una corteza delgada, de color café oscuro uniforme. La parte superior debe ser simétrica, con un contorno similar al de la cabeza de una coliflor, esto indica una óptima manipulación de los ingredientes y una cantidad óptima de líquido en el batido. Una superficie rugosa con un volumen bajo indican una deficiencia de líquido o de manipulación. Por otro lado, un extremo superior liso y con una elevación pronunciada son causadas por una sobre manipulación.

Los agujeros del migajón o miga, deben ser redondos y de tamaño mediano y las paredes de las células muy delgadas. Entre mas rico es el batido (mayor contenido de grasa y azúcar), mas pequeñas son las células de gas y más delgadas las paredes. El muffin debe ser ligero y el migajón suave. Los indicadores de un muffin batido incompletamente son un bajo volumen, migajón grueso, extremo superior plano, manchas color café (bicarbonato de sodio sin disolverse). Por otro lado, la formación de túneles, un extremo superior elevado y una corteza pálida y lisa, son indicadores de un batido de muffin mezclado (Charley, 2006).

#### **4.14. Enriquecimiento nutricional de productos de panificación**

La importancia nutricional de los productos de panificación está bien reconocida. Se han hecho intentos para enriquecer estos productos con proteínas de alta calidad diferentes a la de trigo. Productos como panes, donas, bisquetes y galletas pueden servir como buenos vehículos para llevar la proteína adicionada a poblaciones susceptibles a desnutrición por deficiencia de proteína. Además del enriquecimiento proteico, los productos pueden ser manipulados para contener requerimientos alimenticios específicos tales como un alto contenido de fibra (Chavan y Kadam, 1993). La composición nutricional de un producto de panificación puede ser mejorada mediante la suplementación de la harina de trigo con harina de una leguminosa rica en proteína, sin embargo al hacer esta adición, el contenido de

gluten en la harina de trigo es diluido, lo cual afecta negativamente las propiedades reológicas y sensoriales deseables de los productos de panificación (Chavan y Kadam, 1993; Granito, 2010).

Intentos exitosos han sido realizados al preparar panes, bisquetos, galletas, donas y pasteles de calidad aceptable con harinas compuestas conteniendo hasta 25% de harina que no es de trigo o hasta 5 a 10% de aislados proteicos o concentrados de semillas oleaginosas o leguminosas (Chavan y Kadam, 1993). Ory y Conkerton (1983) elaboraron panes de molde con un 12.5% y galletas con 10%, 15% y 50% de sustitución de la harina de trigo por harina desgrasada de cacahuete así como también muffins elaborados únicamente con esta harina desgrasada (100%) los cuales tenían un elevado valor nutritivo aunque características sensoriales reducidas, se propuso como una alternativa para pacientes celíacos.

Algunos investigadores han presentado resultados favorables al elaborar productos de panificación adicionados con harina de fuentes diferentes al trigo. De este modo, Mustafa y colaboradores (1986), utilizaron harina de chícharo como ingrediente para elaboración de pan, encontrando que una sustitución del 10% de la harina de trigo por harina de chícharo incrementó el volumen específico de 3.2 a 3.4 centímetros cúbicos por gramo y que reemplazos de más del 10% disminuían el volumen específico del pan. Obtuvo también resultados similares con un 5 % de sustitución con harina de soya. Para el 2004 McWatters y colaboradores, habían trabajado reemplazando harina de trigo con harina de frijol Cowpea hasta un 15% en la elaboración de panes de mesa y encontraron que se podía reemplazar el harina de trigo hasta ese nivel sin tener efectos adversos en el desarrollo de la panificación o la calidad sensorial.

Por otro lado, Dhingra y Jood (2002), reportaron que adiciones del 15% de harina de cebada, 10% de harina de soya (desgrasada y no) produjeron panes aceptables además de que incrementando el nivel de sustitución de harina de soya del 5 al 10% se incrementó significativamente el contenido de proteína, lisina y calcio total. Sin embargo también se incrementó el contenido de ácido fítico, polifenoles y la actividad de inhibidores de tripsina.

Doxastakis y colaboradores (2002), mencionaron que niveles de sustitución de harina de lupino y soya a niveles de 5 y 10% mejoraron la estabilidad de la masa, disminuyendo los niveles de panes de mesa conforme aumentaba el nivel de sustitución debido a la dilución de la estructura del gluten por la proteína adicionada.

En el caso de la sustitución con harina de triticale, otro cereal, los volúmenes de los panes se incrementaron conforme se incrementaba la adición debido a la fortificación de la estructura del gluten por el gluten añadido. Sin embargo, una sustitución de 5 o 10% es el valor recomendado para producir un pan aceptable en términos de peso, volumen, textura y estructura de la miga de panes de mesa.

Aguilar (2004), reportó no haber encontrado una diferencia significativa en el nivel de agrado ni en la textura de panes tipo sema elaborados a base de harina de trigo con un nivel de sustitución de hasta 30% de harina de lenteja, incrementándose significativamente su valor nutritivo.

Olaoye y colaboradores (2006), indican que panes producidos con una sustitución con harina de soya de hasta 15% fueron nutricionalmente superiores a el pan elaborado solamente con harina de trigo aunque solamente los panes con un nivel de sustitución del 10% tuvieron buenas cualidades sensoriales.

Rababah (2006) no encontró diferencias significativas en atributos sensoriales entre un bísquet control y otros adicionados con un 3% de aislado proteico de soya, 3% de harina de garbanzo o 12% de harina de haba.

Del mismo modo, Bautista (2007), logró desarrollar panes integrales con un nivel de sustitución de harina de soya de hasta 17% con buenas características sensoriales como sabor, color, textura de la corteza, textura de la miga y aspecto de la misma, con una densidad mayor al pan control sin adición.

Alasino (2008) incorporó un 5% de harina de chícharo en sustitución de la de trigo en panes de molde encontrando que al aumentar el porcentaje de adición decrecían el volumen específico y la aceptación de los atributos sensoriales.

## 5. MÉTODOS

### 5.1. Recolección de la semilla y preparación de las muestras

La semilla completamente madura fue recolectada de árboles de *Ebenopsis ebano* (Berland) muestreados al azar en el área metropolitana de la Ciudad de Monterrey, Nuevo León. Los parámetros de selección del fruto maduro que se tomaron fueron el color y el tamaño de las vainas. Estas fueron seleccionadas con diferencia no mayor de 2.0 y 0.5 centímetros de longitud y anchura respectivamente y de coloración (marrón-rojizo) y grosor similares, tal como son recolectadas por los habitantes de comunidades de la región noreste de la República Mexicana (González, 1996).

Las vainas maduras fueron transportadas en costales tejidos de plástico que permiten la entrada de aire al interior y almacenadas en un lugar fresco y seco para ser procesadas. Se abrieron las vainas para extraer las semillas. Las semillas colectadas fueron transportadas al Departamento de Alimentos de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Se obtuvo una muestra representativa por cuarteo de la totalidad del material disponible, en cantidad suficiente para llevar a cabo las pruebas. Las semillas obtenidas fueron inspeccionadas visualmente para seleccionar aquellas cuya calidad era uniforme, es decir, que no presentaban picaduras de insectos o algún otro tipo de deterioro. Una vez separada la porción de semillas maduras crudas a utilizar, les fue retirada la testa manualmente por compresión y posteriormente los cotiledones fueron molidos en un molino marca Cofret, modelo 518, hasta ser convertidos en harina fina la cual se tamizó sobre una malla con orificios de 1 mm de diámetro. Esta harina se almacenó en recipientes de plástico herméticos que se mantuvieron refrigerados a 4 °C hasta su uso.

#### 5.1.1. Cálculo del nivel óptimo de adición con harina de ébano

Se determinaron los cálculos químicos para los aminoácidos esenciales lisina, cistina+metionina y triptófano de mezclas en diferentes proporciones de harinas de trigo y ébano. La elección de la mezcla idónea se basó en los valores

obtenidos que se muestran en la sección de resultados. La tabla 3 muestra los requerimientos de cada aminoácido esencial (en mg/g de proteína) para infantes en edad preescolar tomados como patrón de referencia para el cálculo de los cómputos químicos, mientras que los perfiles de aminoácidos se obtuvieron de la literatura (González, 1996; USDA, 2006).

La fórmula utilizada para el cálculo de los cómputos químicos (puntaje químico o valores aminoacídicos) es la siguiente:

$$\text{Puntaje químico} = \frac{\text{mg del aminoácido limitante en 1 g de la proteína a prueba}}{\text{mg del mismo aminoácido en 1 g de la proteína de referencia}}$$

La mezcla de harinas en proporciones idóneas fue aquella que presentó el cómputo químico más elevado para el aminoácido limitante lisina sin producir una disminución de los cómputos químicos de otros aminoácidos esenciales.

Tabla 3. Patrón de referencia sugerido para los requerimientos de aminoácidos esenciales <sup>1</sup>	
Aminoácido esencial (mg/g de proteína)	Patrón
Isoleucina	28
Leucina	66
Lisina	58
Metionina + Cistina	25
Fenilalanina + Tirosina	63
Treonina	34
Triptofano	11
Valina	35
Histidina	19
<sup>1</sup> / Fuente: Requerimientos de aminoácidos según FAO/WHO (1985) para niños en edad preescolar, de 2 a 5 años.	

## 5.2. Elaboración de los productos de panificación

Las condiciones de horneado (tiempo y temperatura) y el procedimiento seguido para el mezclado de los ingredientes y la disposición del batido en los moldes son los siguientes:

- 1) Pesar todos los ingredientes por separado.
- 2) Precalentar el horno a 205 °C.
- 3) Disolver el bicarbonato de sodio en el agua.
- 4) Mezclar los ingredientes secos (harina, polvo para hornear, goma arábiga, sal y canela). Cernir tres veces para que el mezclado sea completo.
- 5) En un recipiente adicional añadir la grasa mixta, azúcar, jarabe de maíz, leche en polvo y vainilla. Batirlos a velocidad media durante 3 minutos hasta que se aprecie una mezcla suave y homogénea (batido a punto de crema).
- 6) Apagar la batidora y agregar la mitad del huevo, batir durante 30 segundos a velocidad media. Apagar la batidora y añadir el resto del huevo y batir nuevamente durante 30 segundos a velocidad media.
- 7) Apagar la batidora y añadir en cuatro partes la mezcla de ingredientes secos previamente cernida alternando con el agua. Mezclar inmediatamente con un raspador de goma o teflón cada vez, solo hasta que los ingredientes secos se hayan humedecido. El batido puede lucir aterronado (con grumos) al final del periodo de mezclado. No sobremezclar.
- 8) Transferir el batido a las cavidades del molde (con capacillos de papel) con la menor agitación posible. Cada cavidad deberá ser llenada a un poco mas de la mitad de su capacidad (60 gramos aproximadamente).
- 9) Hornear los muffins a 205 °C hasta que tomen una coloración café dorado y que al introducir un palillo de madera o tenedor, salga limpio (también se puede presionar suavemente con el dedo la superficie o corteza y ésta no deberá quedarse hundida), esto es, en aproximadamente 18 minutos.
- 10) Remover del molde inmediatamente. Transferir los muffins a un plato extendido y taparlos con un trozo de tela. Dejarlos enfriar a temperatura ambiente antes de guardarlos en bolsas de plástico.

### **5.2.1. Materiales e ingredientes**

Los accesorios e instrumentos utilizados para la elaboración de los muffins (panqués o mantecadas) regulares fueron: Batidora, báscula semianalítica, recipientes de plástico, horno de panificación, charola para muffins, guantes resistentes al calor, cucharas, moldes de papel para muffins (capacillos), toallas de papel o tela y bolsas de plástico.

Los ingredientes necesarios para la elaboración de los muffins regulares fueron adquiridos en comercios de la localidad y fueron los siguientes: agua purificada, azúcar blanca (refinada), huevo fresco, grasa mixta, leche en polvo, jarabe de maíz, polvo para hornear de doble acción, bicarbonato de sodio, emulsionante (goma arábica, o goma acacia), sal yodatada y canela.

Se utilizó una receta base para muffins regulares publicada por Serna (2003) la cuál fue modificada.

Las proporciones utilizadas de cada uno de los ingredientes para elaborar las recetas de los muffin control y el muffin a prueba (adicionado con harina de ébano) se muestran en las tablas 4 y 5 respectivamente.



Tabla 4. Receta para la elaboración del producto control (muffins, panqués o bizcochuelos regulares) según Serna (2003) con modificaciones.	
<b>Sólidos</b>	<b>Cantidad (g)<sup>1</sup></b>
Harina de trigo todo propósito	100.00
Azúcar refinada	50.00
Grasa mixta	37.50
Leche en polvo	12.50
Polvo para hornear (doble acción)	3.00
Goma arábica	1.50
Sal	0.25
Bicarbonato de sodio	0.25
Canela en polvo	0.10
<b>Líquidos</b>	<b>Cantidad (g)</b>
Agua	70.00
Huevo	37.50
Jarabe de maíz	12.50
Vainilla	0.50

<sup>1</sup>/ Las cantidades mencionadas son para 100 gramos de harina de trigo.

Tabla 5. Receta para la elaboración de muffins adicionados con un 36% de harina de ébano.	
<b>Sólidos</b>	<b>Cantidad (g)<sup>1</sup></b>
Harina de trigo todo propósito	64.00
Harina de semilla de ébano	36.00
Azúcar refinada	50.00
Grasa mixta	27.90
Leche en polvo	12.50
Polvo para hornear (doble acción)	3.00
Goma arábica	1.50
Sal	0.25
Bicarbonato de sodio	0.25
Canela en polvo	0.10
<b>Líquidos</b>	<b>Cantidad (g)</b>
Agua	70.00
Huevo	37.50
Jarabe de maíz	12.50
Vainilla	0.50
<sup>1</sup> / Las cantidades mencionadas son para 100 gramos de la mezcla de harinas de trigo y ébano (64:36).	

### **5.2.2. Características de los ingredientes**

La harina de trigo utilizada en este estudio fue adquirida en comercios de la localidad y fue caracterizada por el proveedor como una harina “todo propósito”, elaborada a partir de trigos canadienses, en una relación aproximada de 70% trigo duro y 30% de trigo suave, con fuerza media, blanca y enriquecida con hierro (3.5 mg/100g) y ácido fólico (0.2 mg/100g). Una tabla con la composición proximal de esta harina, analizada en el laboratorio se muestra en la tabla 8.

El polvo para hornear de doble acción consistió en una mezcla de carbonato de calcio, bicarbonato de sodio, sulfato de aluminio y sodio (SAS), pirofosfato ácido de sodio y almidón como vehículo. El emulsionante utilizado fue goma arábica, de variedades de *Acacia* relacionadas, refinada, secada por aspersión e instantaneizada para facilitar su dilución en soluciones con un alto contenido de sólidos o con una agitación moderada, con un tamaño de partícula entre 50 y 600  $\mu\text{m}$  y una viscosidad de 60 a 110 cps (solución al 25% en agua a 25°C a 60 rpm en un viscosímetro Brookfield LVF).

## **5.3. Descripción de las técnicas analíticas y protocolos de prueba**

### **5.3.1. Evaluación de parámetros fisicoquímicos**

Los análisis fisicoquímicos fueron realizados en el Laboratorio de Alimentos, Medicamentos y Toxicología y el Laboratorio de Servicios Profesionales “Ing. Severo G. Flores Lira”, ambos de la Facultad de Ciencias Químicas en la Universidad Autónoma de Nuevo León. En los análisis se utilizaron reactivos de grado analítico.

#### **5.3.1.1. Medición del peso, altura, volumen, densidad y color**

En los productos de panificación elaborados se realizaron como un índice de calidad las mediciones de volumen específico y altura. La altura se determinó con una escala graduada en centímetros y el volumen se determinó por el método de desplazamiento de semillas de baja densidad (colza) de la pieza entera, el cual se obtiene por diferencia después de haber medido el volumen de semillas

desplazadas de un recipiente de volumen conocido (Penfield, 1990). La densidad se calculó como la relación entre el peso y el volumen de las piezas expresada como  $\text{g/cm}^3$ . Las piezas fueron pesadas en una balanza semianalítica registrando el peso con una precisión de 0.1 gramos.

Los parámetros de luminosidad ( $L^*$ ), tendencia al color rojo o verde ( $a^*$ ) y tendencia al color amarillo o azul ( $b^*$ ) fueron medidos en la corteza y la miga de los dos productos con un colorímetro Byk Gardner modelo Spectro Guide<sup>®</sup>, equipado con un iluminante  $D_{65}$ , observador a  $10^\circ$  y con una geometría del instrumento de  $45^\circ/0^\circ$ . Previo al análisis el equipo fue calibrado con los patrones de referencia para blanco, negro y brillo. La calibración se verificó con un patrón de referencia verde.

### **5.3.1.2. Análisis Proximal**

El análisis proximal comprendió la determinación de los contenidos de humedad, cenizas, proteína, lípidos (grasa o extracto etéreo). Cada prueba se realizó por triplicado según los métodos oficiales de análisis establecidos por el AOAC Internacional (AOAC, 2005). El extracto libre de nitrógeno, que representa el contenido de carbohidratos digeribles (así como también vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados) se determinó mediante cálculos matemáticos como la diferencia en peso entre el total (100%) y la suma de los valores obtenidos de humedad, proteína cruda, grasa y cenizas. También se realizó el mismo cálculo incluyendo el valor de fibra dietética total a la suma para obtener por diferencia los carbohidratos disponibles. Un listado de las metodologías realizadas tanto en las harinas como en los productos horneados se presenta en el Apéndice.

**5.3.1.2.1. Humedad.** La determinación de humedad en una muestra se basa en la pérdida de peso debida a la evaporación del agua en el punto de ebullición o a temperaturas cercanas a él. Se pesaron 5 gramos de cada muestra por triplicado en cápsulas provistas con tapa y se colocaron destapadas en una estufa previamente calentada a  $100 - 102^\circ\text{C}$  durante tres horas. Una vez transcurrido ese tiempo se taparon las cápsulas y se transfirieron a un desecador, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se pesaron. Se reportó el contenido de humedad al 0.01% más cercano.

**5.3.1.2.2. Cenizas.** El valor de cenizas se basa en la pérdida de peso al calcinar la muestra hasta obtener el residuo inorgánico después de quemar la materia orgánica. Se pesaron de 3 a 5 gramos de muestra bien mezclada en un crisol previamente calcinado y llevado a peso constante. Se precalcinaron las muestras en una plancha de calentamiento y fueron posteriormente transferidas a una mufla a 550°C hasta que resultaron cenizas de color gris claro. Se colocaron en un desecador y fueron pesadas, repitiendo este último paso hasta alcanzar el peso constante.

**5.3.1.2.3. Proteína.** Porciones de 1 gramo de las muestras fueron digeridas en matrices Kjeldahl conteniendo 20 mL de ácido sulfúrico (MERCK), sulfato de cobre (DEQ) y sulfato de potasio (DEQ) para convertir el nitrógeno en sulfato de amonio. Posteriormente el sulfato de amonio se liberó en forma de amoníaco por destilación alcalina con vapor y fue recolectado en ácido. El nitrógeno se cuantificó finalmente por titulación con un álcali estandarizado.

**5.3.1.2.4. Grasa.** Los lípidos enlazados (en los productos horneados) se liberaron disolviendo por completo la muestra con una hidrólisis ácida antes de la extracción con disolventes polares. Se pesaron aproximadamente 2 gramos de muestra molida y bien mezclada en un tubo de extracción de grasa Mojonnier, se añadieron 2 mL de alcohol (CTR) y agitó suavemente para humedecer todas las partículas. Se adicionaron 10 mL de una solución de HCl+H<sub>2</sub>O (25+11), se mezcló bien y se colocó el tubo en un baño de agua a 70-80°C durante 30-40 minutos, agitando frecuentemente. Se enfrió a temperatura ambiente y se añadió alcohol hasta que el nivel del líquido alcanzó el cuello del tubo Mojonnier.

Posteriormente se añadieron 25 mL de éter (CTR), se tapó el tubo con un tapón de vidrio esmerilado, y se agitó vigorosamente por 1 minuto. Se tuvo cuidado al liberar la presión tal modo que no se perdiera solvente. Se lavó el solvente adherido y la grasa del tapón hacia dentro del tubo de extracción con un par de mililitros de éter de petróleo (marca CTR, de punto de ebullición menor a 60°C). Se adicionaron 25 mL de éter de petróleo, se tapó y agitó vigorosamente durante 1 minuto. Se dejó reposar la solución hasta que la capa etérea (superior) estuvo clara.

Se transfirió la fase etérea a un vaso de precipitado de peso conocido través de un filtro consistente de algodón empacado en un embudo lo suficientemente firme como para dejar pasar el éter libremente. Se enjuagó el tubo con éter de petróleo y se repitió la extracción del líquido remanente en el tubo dos veces más, cada vez con 15 mL de cada éter, agitando durante 1 minuto después de la adición de cada éter.

Finalmente, se evaporó suavemente el éter recolectado en el vaso dentro de baño agua a baja temperatura. Se secó el extracto en un vaso de peso conocido durante 30 minutos a 100 °C en una estufa aireada, se dejó enfriar y se pesó. El resultado obtenido se corrigió por la determinación de un blanco de los reactivos usados.

**5.3.1.2.5. Extracto Etéreo.** El contenido de lípidos libres que básicamente consiste en grasas neutras (triglicéridos) y ácidos grasos libres, se determinó por diferencia en peso extrayendo la muestra con éter (CTR) en un equipo de extracción continua Soxhlet. Se utilizaron 2 gramos de la muestra y el periodo de extracción fue de 8 h (a una velocidad de condensación de 2-3 gotas de éter/segundo). Se secó el extracto en un vaso de peso conocido durante 30 minutos a 100 °C en una estufa aireada, se dejó enfriar y se pesó.

### **5.3.1.3. Cuantificación de la fibra dietética total**

Para la determinación del contenido de fibra dietética total, porciones duplicadas de 1 gramo de las muestras secas y desengrasadas fueron suspendidas en buffer de fosfatos 0.08 Molar (SIGMA), gelatinizadas a 95 °C con 100 µL de una solución de  $\alpha$ -amilasa termoestable (SIGMA), y después enzimáticamente digeridas a 60 °C con 100 µL de solución de proteasa (SIGMA) y amiloglucosidasa (SIGMA) para remover la proteína y el almidón. Posteriormente se añadieron cuatro volúmenes de alcohol etílico al 95% para precipitar la fibra dietética. El residuo total fue filtrado y lavado con 3 porciones de 20 mL de etanol al 78%, dos porciones de 10 mL de etanol al 95% y dos porciones de 10 mL de acetona (DEQ). Después de ser secado, el residuo fue llevado a peso constante. Un duplicado se analizó para determinar el contenido de proteína por el método Kjeldahl, y el otro fue incinerado a

525 °C para determinar el contenido de cenizas. El contenido de fibra dietética en la muestra fue determinado utilizando la siguiente fórmula:

$$\% FDT = \frac{mg \text{ residuo} - mg \text{ proteína} - mg \text{ ceniza} - mg \text{ blanco}}{mg \text{ muestra}} \times 100$$

Un blanco de reactivos se corrió a la par de las muestras. El porcentaje calculado de fibra dietética en la muestra seca y sin grasa fue corregido para obtener el valor representativo de la muestra original.

#### 5.3.1.4. Cuantificación de minerales

Las muestras secas y molidas (1 a 2 gramos) fueron calcinadas en crisoles de porcelana limpios en una mufla a 550 °C y las cenizas resultantes se disolvieron en 5 mililitros de una mezcla de HNO<sub>3</sub>:HCl:H<sub>2</sub>O (ácidos marca Merck, en proporción 1:2:3) colocando el crisol en una plancha de calentamiento a temperatura de ebullición hasta que los humos oscuros desaparecieron. Al contenido remanente de cada crisol, se añadieron 5 mL de agua desionizada y la mezcla se calentó hasta que se obtuvo una solución incolora.

La solución mineral de cada crisol se transfirió a un matraz volumétrico de 100 mL filtrando a través de un papel filtro marca Whatman número 42 y aforando posteriormente a la marca con agua desionizada. La concentración de los elementos calcio, sodio, potasio, magnesio, cinc, fierro y cobre en cada una de las soluciones, se determinó usando un espectrofotómetro de absorción atómica modelo Scan1 marca Thermo Jarrell Ash.

Se construyeron curvas de calibración a partir de los valores de absorbancia contra la concentración de cada elemento a niveles apropiados (para obedecer la ley de Beer-Lambert) usando estándares certificados (RICCA). Quemadores de 10 o 5 centímetros de largo fueron utilizados. La concentración de cada elemento en la muestra se calculó como mg/100g de muestra. Las condiciones particulares del análisis espectrofotométrico se mencionan en la tabla 6.

Por otro lado, el contenido de fósforo del digerido fue determinado colorimétricamente. Se pesaron e incineraron 2 gramos de muestra en vasos de 150 mL por 4 horas a 600°C, después se enfriaron y agregaron 40 mL de una solución de

HCL+H<sub>2</sub>O (1+3) y 5 gotas de ácido nítrico concentrado, se dejó hervir casi a sequedad, se dejó enfriar, y después se transfirió el contenido del crisol a matraces volumétricos de 200 mL y se diluyó a la marca con agua desionizada.

Posteriormente se filtró cada solución y se colocaron alícuotas conteniendo de 0.5 a 1.5 mg de fósforo en matraces volumétricos de 100 mL. Se agregaron alícuotas de 20 mL del reactivo molibdovanadato (DEQ) y se diluyó a la marca con agua desionizada y se mezcló cada matraz. Se esperó un tiempo de 10 minutos y leyó la absorbancia a una longitud de onda de 400 nm. Adicionalmente se construyó una curva de calibración con alícuotas de una solución de trabajo (0.1 mg por mililitro) de fósforo.



Tabla 6. Condiciones particulares para el análisis de minerales por espectrofotometría de absorción atómica en las muestras de harina de trigo y ébano así como en los productos horneados.			
Elemento	Componentes de la flama	Longitud de onda (nm)	Rango de concentraciones <sup>1</sup>
Calcio (Ca)	N <sub>2</sub> O/Acetileno	239.90	10 – 200
Magnesio (Mg)	N <sub>2</sub> O/Acetileno	202.50	10 – 50
Sodio (Na)	Aire/Acetileno	330.20	20 – 160
	Aire/Acetileno	589.60	0.5 – 3.5
Potasio (K)	Aire/Acetileno	404.40	20 – 160
Cobre (Cu)	Aire/Acetileno	324.70	0.1 – 3.0
Hierro (Fe)	Aire/Acetileno	248.30	1.0 – 5.0
Zinc (Zn)	Aire/Acetileno	213.90	0.1 – 2.0
<sup>1</sup> / Rango de concentraciones, expresadas en partes por millón, de los estándares certificados utilizados en la elaboración de las curvas de calibración.			

### 5.3.1.5. Determinación de la composición lipídica

La grasa y ácidos grasos fueron extraídos de las muestras por métodos hidrolíticos (hidrólisis ácida). Se pesó una cantidad de cada muestra que contuviera entre 100 y 200 mg de grasa en un matraz Mojonnier, se adicionaron 100 mg de ácido pirogálico como antioxidante, 2 mL de etanol y perlas de ebullición. Se mezcló cuidadosamente y se adicionaron 10 mL de ácido clorhídrico 8.3M y se mezcló nuevamente. Posteriormente se colocaron los matraces en un baño con agitación moderada a una temperatura entre 70 y 80 °C durante 40 minutos agitando cada 10 minutos para reincorporar a la solución las partículas adheridas a las paredes del recipiente. Después de la digestión se retiraron los matraces del baño, se enfriaron a temperatura ambiente (20-25°C) y se les añadió suficiente etanol para llenar el reservorio del matraz. Se añadieron 25 mL de éter etílico a cada matraz, se taparon y agitaron por aproximadamente 5 minutos dejándose reposar hasta que la capa etérea se volvió clara (aproximadamente 1 hora). Se enjuagó el tapón con una mezcla de éter etílico y éter de petróleo (1:1) recuperando la mezcla dentro del matraz. Se decantó la capa etérea (superior) en un vaso de precipitado de 150 mL enjuagando posteriormente el cuello de cada matraz con la mezcla de éteres y recuperando ésta en el vaso de precipitado. Finalmente se evaporó el solvente a baja temperatura (30°C) en un baño de agua. El residuo remanente en el vaso contenía la grasa extraída que fue posteriormente metilada.

Para la esterificación de los ácidos grasos, el residuo remanente de cada muestra se hizo reaccionar con 2 mL de una solución metanólica de trifluoruro de boro al 14% (SIGMA-ALDRICH), aplicando calor en un vial ambar sellado adecuadamente con septum (sello) de teflón/silicona, vigilando el nivel de la solución para descartar cualquier fuga. Una vez enfriado a temperatura ambiente, se adicionaron 5 mL de agua, 1mL de éter de petróleo y 1 gramo de sulfato de sodio anhidro (DEQ). Se agitó el vial tapado durante 1 minuto y se dejó reposar para permitir la separación de las fases. Por último se transfirió cuidadosamente la fase etérea, se aforó a 25 mL y se depositó en otro vial que contenía 1 gramo de sulfato de sodio como agente desecante. La fase etérea contiene los ésteres metílicos de los ácidos grasos. Los ésteres metílicos fueron posteriormente cuantificados por cromatografía de gases en una columna capilar. Un microlitro de esta fase etérea fue inyectada en el cromatógrafo para su análisis.

La grasa saturada e insaturada fue calculada como la suma de sus respectivos ácidos grasos. Para el análisis se utilizó un cromatógrafo de gases Varian 3700 con un detector de ionización de flama (FID). Se utilizó en el análisis una columna de sílica fundida Omegawax 530<sup>®</sup>, de 30 metros por 0.53 mm de diámetro interno y 0.5 µm de película.

Las temperaturas de trabajo fueron 250 °C para el inyector y detector. Se utilizaron dos programas de temperatura; para el análisis de las muestras con grasa butírica se utilizó una temperatura inicial de 40 °C sostenida por 2 minutos hasta 240°C sostenida por 10 minutos. En el caso de las muestras sin grasa butírica se utilizó una temperatura inicial de 150 °C hasta 220 °C sostenida por 20 minutos. Se utilizó nitrógeno grado cromatográfico como gas acarreador con un flujo de 10mL/min. Para el detector de ionización de flama se utilizaron hidrógeno grado cromatográfico y aire seco (punto de rocío -59°C máximo) libre de hidrocarburos (menos de 2 ppm de hidrocarburos equivalente a metano).

Antes del análisis de las muestras se inyectó en el cromatógrafo, como estándar y para optimizar la respuesta cromatográfica, una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos disponible comercialmente (Mezcla FAME Mix 37 de Supelco<sup>®</sup>). Los tiempos de retención para cada uno de los ésteres metílicos de ácidos grasos (C4 a C24) saturados e insaturados del estándar comercial fueron registrados por el software del integrador y almacenados en el equipo para ser posteriormente comparados automáticamente con los tiempos de retención de los esterios metílicos registrados para cada muestra y así obtener la composición de la grasa en las mismas.

### **5.3.2. Evaluación biológica de la calidad proteica**

#### **5.3.2.1. Digestibilidad verdadera (DV)**

Para determinar la digestibilidad de la proteína se utilizaron grupos de 8 ratas albinas raza Wistar, de 45 a 55 gramos de peso recién destetadas por cada dieta. Fueron alojadas en jaulas metabólicas de fondo levantado individuales con agua y alimento *ad libitum*, bajo condiciones controladas de temperatura y ciclos de 12 horas de luz/oscuridad. Se trabajó en el bioterio del Departamento de Alimentos de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

El diseño estadístico de la distribución de los animales de laboratorio se hizo en grupos al azar. Se evaluó la digestibilidad “*in vivo*”, registrando la ingesta de alimento y recolectando las heces de las ratas durante 7 días, las cuáles se secaron, molieron y se determinó en ellas el contenido de nitrógeno para el cálculo de la digestibilidad con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Digestibilidad Verdadera} = \frac{N \text{ ingerido} - (N \text{ fecal} - N \text{ fecal endógeno}) \times 100}{N \text{ ingerido}}$$

Donde N = Nitrógeno.

### **5.3.2.2. Formulación de las dietas y condiciones del bioensayo**

Se preparó una dieta a partir de cada producto de panificación, con y sin adición de semilla de ébano tras haber sido evaluados satisfactoriamente en las pruebas sensoriales. Como testigo se usó una dieta de caseína (proteína de buena calidad) y se elaboró también una dieta libre de nitrógeno a fin de conocer la demanda de proteína para crecimiento y la excreción de nitrógeno endógeno. Las dietas fueron debidamente suplementadas con vitaminas, minerales, fibra dietética y aceite.

Los ingredientes utilizados en la preparación de las dietas fueron: Almidón de maíz, caseína, aceite de maíz y celulosa (Bioselec, SA), una mezcla de vitaminas y otra de minerales (AIN 76, Nutritional Biochemicals) así como los dos productos horneados, secos, desgrasados y en polvo.

Las dietas se ajustaron a un 10% de proteína, 10% de lípidos totales, 5% de fibra total y 1% de mezcla de vitaminas y minerales. Las mezclas resultantes se ajustaron finalmente a 100% con almidón de maíz. La dieta libre de nitrógeno se preparó con la misma composición de la dieta de prueba, pero sin proteína haciéndose el ajuste también con almidón de maíz.

### 5.3.2.3. Cálculo de la cuenta o puntaje químico corregido por la digestibilidad proteica (PDCAAS)

El score, valor aminoacídico, puntaje o cuenta química de una proteína refleja su contenido en aminoácidos en comparación con una proteína ideal (ej. caseína). Sin embargo, cuando se requiere conocer sobre el aprovechamiento o utilización de tales aminoácidos en el organismo es necesario realizar una corrección del valor aminoacídico según la digestibilidad de la proteína en estudio (Suárez, 2006).

Para el cálculo de la cuenta química corregida por la digestibilidad de la proteína se obtuvo en primer lugar, la composición aminoacídica de la proteína en las harinas de trigo y ébano consultando la base de datos nacional de nutrientes del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2006) y de un estudio previo (González, 1998) respectivamente. A partir de estos valores, y tomando en cuenta el contenido de proteína cruda en ambas harinas, se calcularon los miligramos del primer aminoácido limitante, utilizando los requerimientos para niños en edad preescolar como patrón de referencia (tabla 3). Se calculó la cuenta química utilizando la fórmula mencionada anteriormente.

Posteriormente se alimentó a ratas destetadas con dietas estandarizadas a un 10% de proteína y con una dieta libre de nitrógeno (sin proteína) siguiendo el procedimiento para la determinación de la digestibilidad proteica verdadera ya mencionado. La digestibilidad verdadera se calculó en base a la cantidad de alimento y de nitrógeno ingeridos, corregida por las pérdidas metabólicas en las heces. Se calculó el PDCAAS con la siguiente fórmula:

$$\text{PDCAAS} = (\text{Puntaje químico}) \times (\% \text{ Digestibilidad verdadera})$$

Se consideró que el método PDCAAS provee de un mejor estimado de la calidad proteica para humanos que otros como método PER (del inglés Protein Efficiency Ratio) el cual mide, el crecimiento en ratas, debido a que este no es comparable al de humanos adultos, pero si es comparable, al de humanos infantes. Debido a esto el método PER es utilizado para evaluar la calidad de la proteína en alimentos para infantes (Nielsen, 2003).

### **5.3.3. Evaluación sensorial de productos alimenticios**

#### **5.3.3.1. Pruebas sensoriales**

Para el análisis sensorial de ambos productos se utilizaron pruebas afectivas con jueces no entrenados (consumidores potenciales). Participaron 40 jueces consumidores, de ambos sexos, entre 20 y 55 años, con la habilidad (ausencia de padecimientos que afecten el gusto, vista y olfato), interés y disponibilidad requeridos. Las pruebas se llevaron a cabo en un área alejada del lugar de producción, en un ambiente tranquilo, con una temperatura, nivel de ruido e iluminación cómodos para los jueces (Anzaldúa, 1994).

Para el análisis, se cortó cada pieza en mitades y cada juez recibió una de cada producto. Para las 3 pruebas (preferencia, aceptación y nivel de agrado) se utilizaron el muffin a prueba (control) y el muffin adicionado con un 36% de harina de semilla de *Ebenopsis ebano*. La prueba de nivel de agrado (o grado de satisfacción) se basó en una escala hedónica de 7 puntos: Me gusta mucho, me gusta moderadamente, me gusta poco, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta poco, me disgusta moderadamente y me disgusta mucho (Anzaldúa, 1994).

### **5.4. Análisis Estadístico**

Se aplicó estadística descriptiva a los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados por triplicado de la semilla y los productos horneados. Los valores promedio obtenidos para los dos productos de panificación en las evaluaciones fisicoquímicas y biológica fueron comparados entre si utilizando la prueba t de student para encontrar diferencias significativas. Se utilizó el programa SPSS® versión 10.0 para Windows®. Para el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas afectivas de aceptación y preferencia se utilizó una tabla de significancia para pruebas de dos muestras (2 colas) con un nivel de probabilidad del 5%.

## 6. RESULTDOS

### 6.1. Composición de la semilla de *Ebenopsis ebano*

#### 6.1.1. Composición proximal y contenido de fibra dietética total

La composición proximal calculada para la harina de ébano (obtenida por molienda de los cotiledones de la semilla madura y cruda) incluye el contenido de humedad, cenizas, lípidos, proteína, fibra dietética total, extracto libre de nitrógeno (carbohidratos totales) y carbohidratos disponibles y se muestra en la tabla 7. La tabla 8 muestra la composición de la harina de trigo todo propósito utilizada en el estudio resultado de su análisis proximal.

Tabla 7. Composición proximal y contenido de fibra dietética total de los cotiledones de la semilla de <i>Ebenopsis ebano</i> (Berland) Barneby & Grimes.	
Determinación	Cotiledones <sup>1</sup>
Humedad (g/100g)	6.90 ± 0.01
Ceniza (g/100g)	3.22 ± 0.01
Proteína (g/100g)	30.46 ± 0.21
Extracto Etéreo (g/100g)	26.60 ± 0.29
FDT (g/100g)	8.55 ± 0.15
Carbohidratos Totales como ELN <sup>2</sup> (g/100g)	32.82 ± 0.42
Carbohidratos Disponibles (g/100g)	24.27 ± 0.51
Valor energético (kcal/100g)	458 ± 1.62
<sup>1</sup> / Semilla madura, cruda, sin vaina y sin testa.	
<sup>2</sup> / Extracto Libre de Nitrógeno calculado por diferencia.	

Tabla 8. Composición proximal y contenido de fibra dietética total obtenida para la harina de trigo *Triticum aestivum*<sup>1</sup> utilizada en el estudio.

Determinación	Resultado
Humedad (%)	11.79 ± 0.04
Ceniza (%)	0.63 ± 0.01
Proteína (%)	10.26 ± 0.07
Extracto Etéreo (%)	0.78 ± 0.01
Fibra Dietética Total (%)	2.50 ± 0.04
Extracto Libre de Nitrógeno (%)	76.54 ± 0.12

<sup>1</sup>/ Harina “todo propósito”, blanqueada y enriquecida con hierro (3.5 mg/100g) y ácido fólico (0.2 mg/100g).



### **6.1.2. Composición lipídica**

El análisis de la fracción lipídica de la semilla mostrado en las tablas 9 y 10 revela que está conformada por un 28.97 % de grasa saturada, 36.46 % de grasa monoinsaturada y un 34.56 % de grasa poliinsaturada. Predominando el ácido palmítico (C16:0) en la porción saturada, el oléico (C18:1) en la monoinsaturada y el linoléico (C18:2) en la poliinsaturada.

De la composición lipídica de la grasa en la semilla de ébano, destaca su elevado contenido de los ácidos grasos Araquídico ó C20:0 (3.32 %), el Behénico ó C22:0 (2.00 %) y Lignocérico ó C24:0 (1.03 %).

Tabla 9. Composición de la grasa extraída de la harina de la semilla madura cruda de <i>Ebenopsis ebano</i> <sup>1</sup> .	
Acido graso (%)	Promedio
C16:0	14.40 ± 0.14
C16:1	0.23 ± 0.01
C18:0	8.23 ± 0.05
C18:1	35.47 ± 0.05
C18:2	34.53 ± 0.03
C18:3	0.03 ± 0.00
C20:0	3.32 ± 0.05
C20:1	0.46 ± 0.03
C22:0	2.00 ± 0.05
C22:1	0.30 ± 0.01
C24:0	1.03 ± 0.04
Grasa Saturada (%)	28.98 ± 0.09
Grasa Monoinsaturada (%)	36.46 ± 0.07
Grasa Poliinsaturada (%)	34.56 ± 0.03
<sup>1</sup> / Semilla madura, cruda, sin vaina y sin testa, molida y tamizada en una malla con orificios de 1 mm de diámetro. Valores promedio ± Desviación estándar de tres determinaciones (n=3).	

Tabla 10. Contenido (en gramos) de ácidos grasos en 100 gramos de harina de la semilla <i>Ebenopsis ebano</i> <sup>1</sup> .	
Contenido	Valor
Grasa Saturada	7.70 ± 0.02
C16:0	3.83 ± 0.04
C18:0	2.19 ± 0.01
C20:0	0.88 ± 0.01
C22:0	0.53 ± 0.01
C24:0	0.27 ± 0.27
Grasa Monoinsaturada	9.70 ± 0.02
C16:1	0.06 ± 0.00
C18:1	9.44 ± 0.01
C20:1	0.12 ± 0.01
C22:1	0.08 ± 0.00
Grasa Poliinsaturada	9.20 ± 0.01
C18:2	9.19 ± 0.01
C18:3	0.01 ± 0.00
<sup>1</sup> / Semilla madura, cruda, sin vaina y sin testa, molida y tamizada en una malla con aberturas de 1 milímetro de diámetro. Valores promedio ± Desviación estándar de tres determinaciones (n=3).	

### 6.1.3. Contenido de minerales

La harina de la semilla madura cruda y sin testa de la leguminosa posee concentraciones superiores con respecto a la harina de trigo para todos los macro y microminerales analizados. Esto se puede observar al revisar los valores presentados en la tabla 11. En los cotiledones de la semilla madura cruda de *Ebenopsis ebano*, se encontraron niveles de fósforo de 357 mg/100g, el magnesio alcanzó los 240 mg/100g de harina y se encontraron valores de 22 y 706 mg/100g de sodio y potasio respectivamente.

No se observó una diferencia estadísticamente significativa entre los contenidos de hierro de las harinas de trigo y ébano. El mismo fenómeno ocurrió en los productos horneados con y sin adición de harina de ébano. Las variaciones en el contenido de minerales se pueden apreciar de manera fácil y rápida en la tabla 11 y las figuras 1 y 2.

Tabla 11. Concentración (mg/100g) para los macro y microminerales cuantificados en las harinas de trigo y ébano ( <i>Ebenopsis ebano</i> ).		
Macrominerales	Harina Trigo	Harina Ébano
Calcio (Ca)	27.39 ± 1.07 <sup>a</sup>	365.83 ± 4.88 <sup>b</sup>
Fósforo (P)	126.43 ± 0.61 <sup>a</sup>	357.17 ± 0.83 <sup>b</sup>
Magnesio (Mg)	26.77 ± 0.21 <sup>a</sup>	240.34 ± 2.30 <sup>b</sup>
Sodio (Na)	1.81 ± 0.08 <sup>a</sup>	21.82 ± 0.80 <sup>b</sup>
Potasio (K)	109.56 ± 2.93 <sup>a</sup>	706.47 ± 3.34 <sup>b</sup>
Microminerales (oligoelementos)		
Cobre (Cu)	0.11 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.67 ± 0.01 <sup>b</sup>
Hierro (Fe)	4.23 ± 0.10 <sup>a</sup>	4.26 ± 0.39 <sup>a</sup>
Cinc (Zn)	2.36 ± 0.01 <sup>a</sup>	3.77 ± 0.01 <sup>b</sup>
Superíndices diferentes en una misma fila indican diferencias significativas a p<0.05		

Figura 1. Contenido (mg/100g) de los macrominerales calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio encontrados en las harinas de trigo y en la harina de los cotiledones de la semilla madura, cruda y sin testa de *Ebenopsis ebano*.

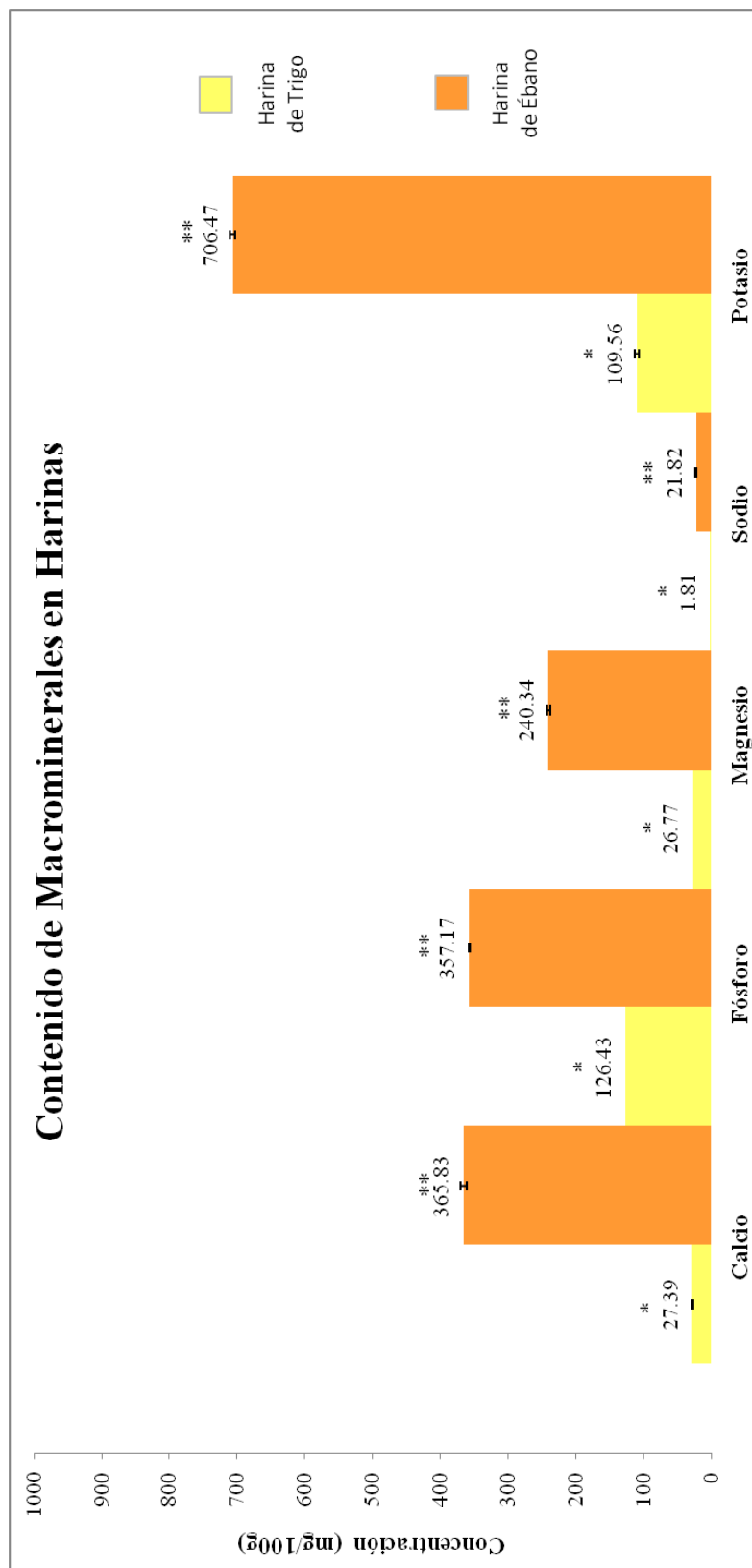
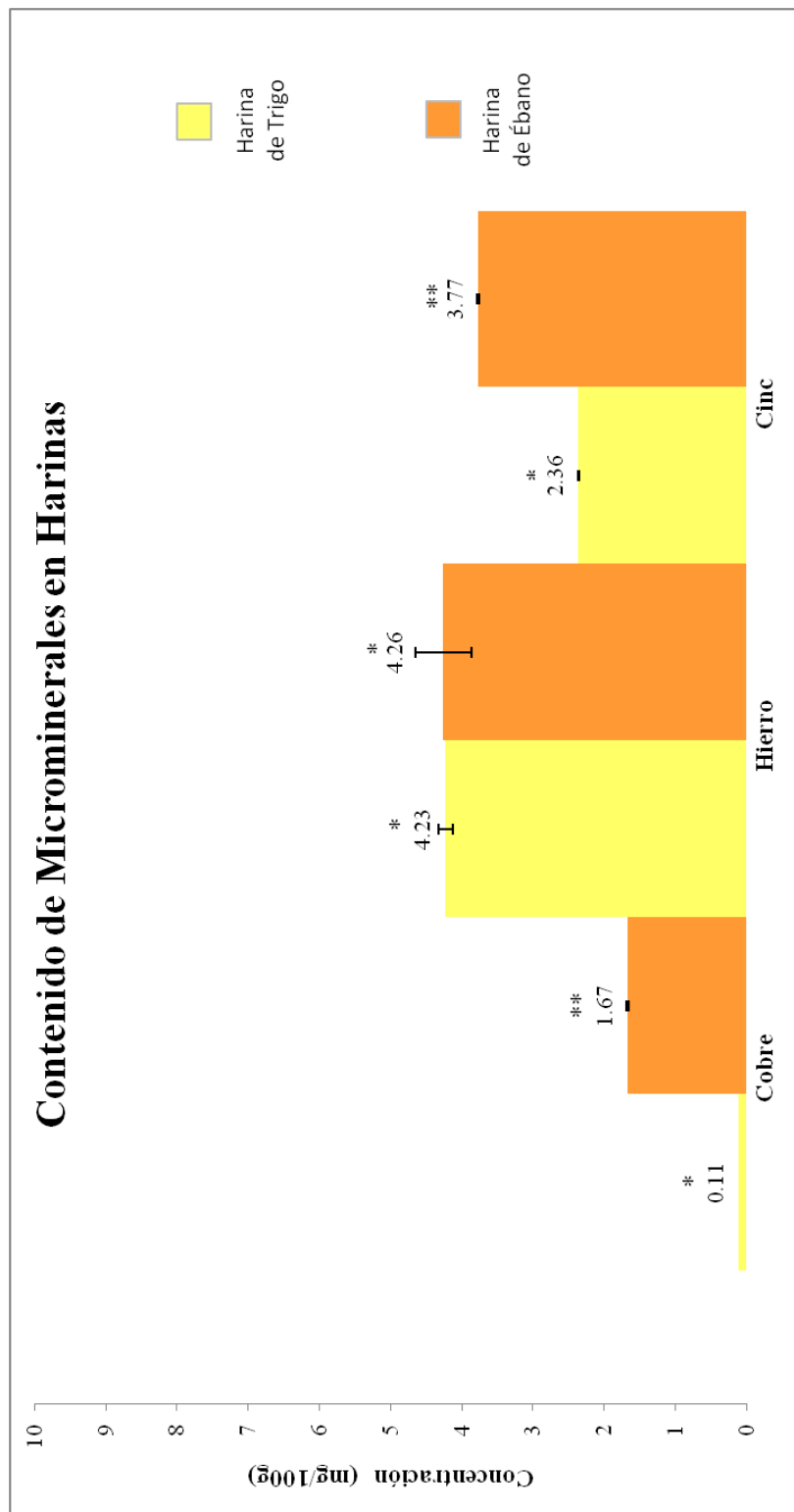


Figura 2. Contenido (mg/100g) de los microminerales u oligoelementos cobre, hierro y cinc encontrados en las harinas de trigo y en la harina de los cotiledones de la semilla madura, cruda y sin testa de *Ebenopsis ebano*.



## **6.2. Cálculo del nivel óptimo de adición con harina de ébano**

La tabla 12 muestra las cuentas o puntajes químicos para diferentes mezclas de harinas, incluyendo la elegida. Las cuentas o puntajes químicos para las mismas mezclas de harinas, considerando el aporte aminoacídico de la leche y el huevo utilizados en el estudio se muestran en el apéndice.

La mezcla de harinas de trigo y ébano designada como idónea debido a que su cuenta química cumplió con los criterios de selección ya mencionados fue la que contiene un 64% de harina de trigo y un 36 % de harina de ébano.



Tabla 12. Valores de cómputo o puntaje químico para diferentes mezclas de harina de trigo y harina de los cotiledones de la semilla madura cruda y sin testa de la leguminosa *Ebenopsis ebano*.

Mezcla de Harinas		Cómputo Químico <sup>1</sup>		
Harina Trigo (%)	Harina Ebano (%)	Lisina	Metionina + Cistina	Triptofano
100	0	0.381	1.557	1.117
90	10	0.552	1.311	1.000
80	20	0.675	1.134	0.916
70	30	0.768	1.001	0.853
65	35	0.806	0.946	0.827
64	36	0.813	0.936	0.822
63	37	0.820	0.926	0.817
60	40	0.840	0.897	0.804
0	100	1.070	0.560	0.650

<sup>1</sup> / Calculado a partir de los valores para Caseína (FAO/WHO, niños en edad preescolar de 2 a 5 años) como proteína de referencia (1985).

### **6.3. Evaluación de parámetros fisicoquímicos en los productos de panificación**

#### **6.3.1. Características físicas**

La figura 3 muestra el efecto de las modificaciones a la receta base para la elaboración de muffins regulares hasta la elección de la receta final utilizada para elaborar los productos horneados del presente estudio. La figura 4 muestra a los productos control y adicionado con ébano (prueba) respectivamente.

Los resultados de las evaluaciones físicas se presentan en las tablas 13 y 14. Se encontraron diferencias significativas entre ambas muestras para las variables peso, altura, volumen, densidad y color. En lo referente a los tres parámetros de color evaluados, se encontraron diferencias significativas para la luminosidad ( $L^*$ ) y la tendencia al color al rojo (valores positivos de  $a^*$ ) entre la corteza de los dos productos horneados. Para la miga, la diferencia significativa ocurrió solo para la tendencia del color al amarillo (valores positivos de  $b^*$ ).

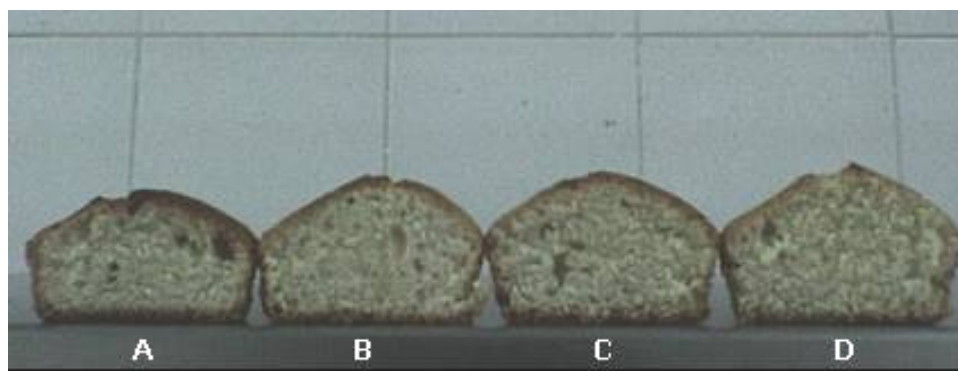


Figura 3. Desarrollo de la receta o fórmula base usada para los productos horneados. A receta original, B adición de un 0.5 % de goma arábica, C incremento en la cantidad del polvo para hornear y D disminución de la cantidad de agua adicionada.

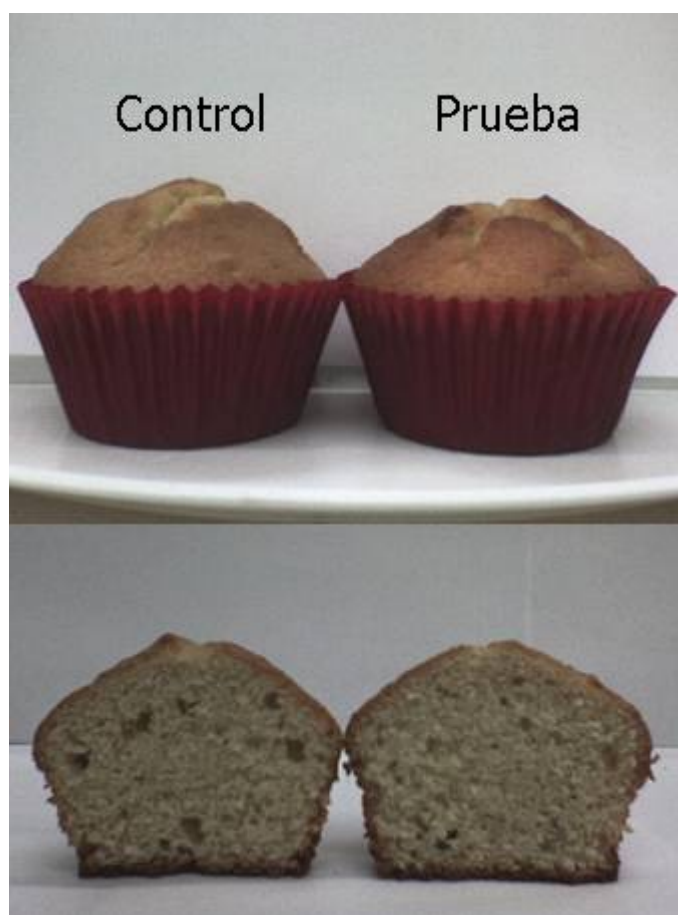


Figura 4. Apariencia de la corteza (superficie) y “miga” (o migajón) de los productos horneados. A la izquierda se aprecia el producto control a base de trigo y a la derecha el producto a prueba adicionado con harina de cotiledones de *Ebenopsis ebano*.

Tabla 13. Resultados de la evaluación de parámetros físicos en los productos horneados.		
PARÁMETRO	MUFFIN	
	Control	Prueba <sup>1</sup>
Peso unitario (g)	49,2 ± 0,62 <sup>a</sup>	50,2 ± 0,18 <sup>b</sup>
Altura (cm)	5,3 ± 0,04 <sup>a</sup>	5,1 ± 0,08 <sup>b</sup>
Volumen (cm <sup>3</sup> )	140 ± 0,71 <sup>a</sup>	137 ± 0,88 <sup>b</sup>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,35 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,37 ± 0,01 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>/ Adicionado con un 36% de harina de ébano.  
Valores promedio ± Desviación estándar de 5 determinaciones (n=5)  
Superíndices diferentes en los valores de una misma fila indican diferencias significativas a p<0.05.

Tabla 14. Resultados de la evaluación instrumental del color en la miga y corteza de los productos horneados				
Parámetro	CONTROL	PRUEBA <sup>1</sup>	CONTROL	PRUEBA <sup>1</sup>
	Corteza	Corteza	Miga	Miga
L*	57.61 ± 3.33 <sup>a</sup>	52.10 ± 2.23 <sup>b</sup>	76.71 ± 1.82 <sup>a</sup>	72.64 ± 3.66 <sup>a</sup>
a*	14.21 ± 1.61 <sup>a</sup>	17.29 ± 1.59 <sup>b</sup>	1.17 ± 0.21 <sup>a</sup>	1.23 ± 0.40 <sup>a</sup>
b*	33.81 ± 1.30 <sup>a</sup>	32.45 ± 0.88 <sup>a</sup>	21.42 ± 0.64 <sup>a</sup>	22.97 ± 0.86 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>/ Adicionado con un 36% de harina de ébano.  
Valores promedio ± Desviación estándar de 5 determinaciones (n=5)  
Superíndices diferentes en los valores de una misma fila bajo las columnas “corteza” o “miga” indican diferencias significativas a p<0.05.

### 6.3.2. Composición proximal y contenido de fibra dietética total

Los resultados obtenidos revelan que el contenido de proteína para el producto control y el producto suplementado es de 6,83 y 9,70 g/100g respectivamente (tabla 15). Lo anterior significa un aumento del 42% en el contenido de proteína del producto suplementado con respecto al producto control (trigo). El contenido de humedad, cenizas y fibra dietética también se observan aumentados. El contenido de grasa total en ambos productos no presenta diferencias significativas.

Tabla 15. Composición proximal, contenido de fibra dietética total y valor energético de los productos horneados elaborados.		
PARÁMETRO	Muffin Control <sup>1</sup>	Muffin Prueba <sup>2</sup>
Proteína (g/100g)	6,83 ± 0,02 <sup>a</sup>	9,70 ± 0,06 <sup>b</sup>
Humedad (g/100g)	26,63 ± 0,01 <sup>a</sup>	28,01 ± 0,02 <sup>b</sup>
Cenizas (g/100g)	1,53 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,92 ± 0,01 <sup>b</sup>
Fibra Dietética Total (g/100g)	1,90 ± 0,09 <sup>a</sup>	3,01 ± 0,02 <sup>b</sup>
Grasa total (g/100g)	17,51 ± 0,56 <sup>a</sup>	17,99 ± 0,35 <sup>a</sup>
Carbohidratos Totales como ELN <sup>3</sup> (g/100g)	47.51 ± 0.57 <sup>a</sup>	42.39 ± 0.44 <sup>b</sup>
Carbohidratos Disponibles (g/100g)	45.60 ± 0.50 <sup>a</sup>	39.38 ± 0.46 <sup>b</sup>
Valor Energético (kcal/100g)	368 ± 4.6 <sup>a</sup>	358 ± 1.54 <sup>b</sup>
<sup>1</sup> / Elaborado a base de harina de trigo. <sup>2</sup> / Elaborado a base de una mezcla de harinas de trigo:ébano 64:36. <sup>3</sup> / Extracto Libre de Nitrógeno calculado por diferencia. Valores promedio ± Desviación estándar de tres determinaciones (n=3). Superíndices diferentes en los valores de una misma fila indican diferencias significativas a p<0.05.		

### 6.3.3. Composición lipídica

El contenido de los ácidos butírico (C4:0), capríco (C6:0), caprílico (C8:0), y cáprico (C10:0) en ambos productos no presenta diferencias significativas. En ambos productos, el ácido palmítico (C16:0) es el ácido graso saturado predominante, el ácido oléico (C18:0) el ácido graso monoinsaturado y el ácido linoléico (C18:2) el ácido graso poliinsaturado presentes en mayor cantidad. Se encontraron diferencias significativas entre los contenidos de grasa saturada, monoinsaturada y poliinsaturada de los productos, siendo menor el contenido de grasa saturada y mayor el de las fracciones mono y poliinsaturada en el producto adicionado con harina de ébano. El producto adicionado con harina de ébano posee un elevado contenido de grasa poliinsaturada con respecto al producto control, siendo los valores encontrados de 7.42 % y 13.25% respectivamente. Las tablas 16 y 17 muestran los resultados obtenidos. En la figura 5 se hace un análisis comparativo.

Tabla 16. Composición de la grasa extraída en los productos horneados, con y sin adición de harina de la semilla madura cruda de *Ebenopsis ebano*.

Acido Graso (%)	Muffin Control	Muffin Prueba <sup>1</sup>
C4:0	0.11 <sup>a</sup> ± 0.01	0.11 <sup>a</sup> ± 0.01
C6:0	0.18 <sup>a</sup> ± 0.01	0.16 <sup>a</sup> ± 0.01
C8:0	0.14 <sup>a</sup> ± 0.01	0.12 <sup>a</sup> ± 0.01
C10:0	0.29 <sup>a</sup> ± 0.02	0.27 <sup>a</sup> ± 0.02
C12:0	0.34 <sup>a</sup> ± 0.01	0.31 <sup>b</sup> ± 0.01
C14:0	3.30 <sup>a</sup> ± 0.02	2.60 <sup>b</sup> ± 0.04
C14:1	0.35 <sup>a</sup> ± 0.01	0.27 <sup>b</sup> ± 0.01
C15:0	0.45 <sup>a</sup> ± 0.01	0.36 <sup>b</sup> ± 0.01
C16:0	24.58 <sup>a</sup> ± 0.09	22.32 <sup>b</sup> ± 0.14
C16:1	2.51 <sup>a</sup> ± 0.02	1.99 <sup>b</sup> ± 0.02
C17:0	1.00 <sup>a</sup> ± 0.01	0.78 <sup>b</sup> ± 0.01
C17:1	0.47 <sup>a</sup> ± 0.01	0.36 <sup>b</sup> ± 0.00
C18:0	21.66 <sup>a</sup> ± 0.14	19.78 <sup>b</sup> ± 0.74
C18:1	36.55 <sup>a</sup> ± 0.22	35.55 <sup>a</sup> ± 0.80
C18:2	7.07 <sup>a</sup> ± 0.06	13.01 <sup>b</sup> ± 0.03
C18:3	0.33 <sup>a</sup> ± 0.01	0.24 <sup>b</sup> ± 0.01
C20:0	0.12 <sup>a</sup> ± 0.00	0.75 <sup>b</sup> ± 0.20
C20:1	0.39 <sup>a</sup> ± 0.01	0.37 <sup>a</sup> ± 0.09
C22:0	0.10 <sup>a</sup> ± 0.02	0.52 <sup>b</sup> ± 0.01
C22:1	0.04 <sup>a</sup> ± 0.01	0.12 <sup>b</sup> ± 0.02
Grasa saturada (%)	52.26 ± 0.15 <sup>a</sup>	48.08 ± 0.76 <sup>b</sup>
Grasa monoinsaturada (%)	40.31 ± 0.20 <sup>a</sup>	38.65 ± 0.74 <sup>b</sup>
Grasa poliinsaturada (%)	7.42 ± 0.06 <sup>a</sup>	13.25 ± 0.04 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>/ Adicionado con un 36% de harina de ébano.

Valores Promedio ± Desviación Estándar de tres determinaciones (n=3).

Superíndices diferentes en una misma fila indican diferencias significativas a p<0.05.

Tabla 17. Contenido de ácidos grasos en los productos horneados, con y sin adición de harina de la semilla madura cruda de <i>Ebenopsis ebano</i> .		
Perfil de lípidos (g/100g de producto)	Muffin Control	Muffin Prueba <sup>1</sup>
Grasa Saturada	9.15 ± 0.03 <sup>a</sup>	8.67 ± 0.14 <sup>b</sup>
C4:0	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>
C6:0	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>
C8:0	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>
C10:0	0.05 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.05 ± 0.00 <sup>a</sup>
C12:0	0.06 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.06 ± 0.00 <sup>b</sup>
C14:0	0.58 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.47 ± 0.01 <sup>b</sup>
C15:0	0.08 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.07 ± 0.00 <sup>b</sup>
C16:0	4.30 ± 0.02 <sup>a</sup>	4.02 ± 0.02 <sup>b</sup>
C17:0	0.18 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.14 ± 0.00 <sup>b</sup>
C18:0	3.79 ± 0.02 <sup>a</sup>	3.56 ± 0.13 <sup>b</sup>
C20:0	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.14 ± 0.04 <sup>b</sup>
C22:0	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.09 ± 0.00 <sup>b</sup>
Grasa Monoinsaturada	7.06 ± 0.03 <sup>a</sup>	6.96 ± 0.13 <sup>b</sup>
C14:1	0.06 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.05 ± 0.00 <sup>b</sup>
C16:1	0.44 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.36 ± 0.00 <sup>b</sup>
C17:1	0.08 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.06 ± 0.00 <sup>b</sup>
C18:1	6.40 ± 0.04 <sup>a</sup>	6.40 ± 0.14 <sup>a</sup>
C20:1	0.07 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.07 ± 0.02 <sup>a</sup>
C22:1	0.01 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>b</sup>
Grasa Poliinsaturada	1.30 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.38 ± 0.01 <sup>b</sup>
C18:2	1.24 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.34 ± 0.01 <sup>b</sup>
C18:3	0.06 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>b</sup>

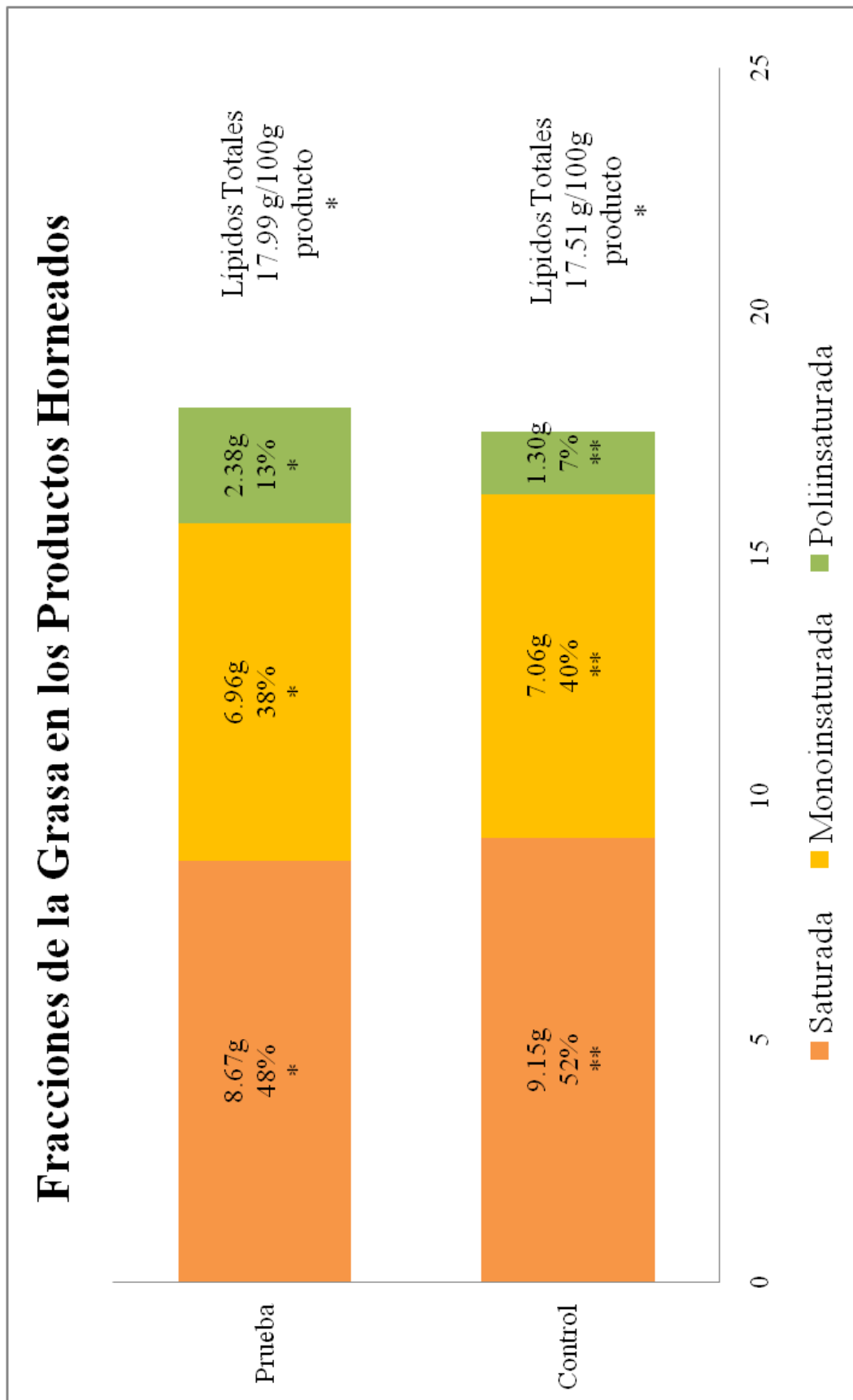
<sup>1</sup>/ Adicionado con un 36% de harina de ébano.

Valores Promedio ± Desviación Estándar de tres determinaciones (n=3).

Superíndices diferentes en una misma fila indican diferencias significativas a p<0.05.



Figura 5. Comparación de las fracciones saturada, monoinsaturada y poliinsaturada de la grasa en los productos horneados, control y a prueba.



#### **6.3.4. Contenido de minerales**

La tabla 18 muestra las concentraciones de los macrominerales calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio y los oligoelementos cobre, hierro y zinc encontradas en los productos horneados, el muffin control elaborado exclusivamente con harina de trigo y el muffin a prueba elaborado con una mezcla de harinas de trigo y ébano.

Se observó que con excepción del hierro, las concentraciones de todos los minerales se encontraban aumentadas en el producto adicionado con harina de ébano, repitiéndose el fenómeno observado en las harinas de trigo y ébano también analizadas. Tomando en cuenta que las cantidades de los demás ingredientes en la fórmula fueron las mismas en ambos productos, el incremento en el contenido de minerales en el muffin a prueba se atribuyó directamente a la adición de harina de la semilla de ébano. En las figuras 6 y 7 se pueden apreciar estas diferencias significativas o igualdades en el caso del hierro.

Tabla 18. Concentración (mg/100g) para los macro y microminerales cuantificados en los productos horneados elaborados con harina de trigo (control) y con una mezcla de harinas de trigo y ébano (prueba).		
	Muffin control	Muffin prueba
<b>Macrominerales</b>		
Calcio (Ca)	223.68 ± 3.24 <sup>a</sup>	298.93 ± 2.18 <sup>b</sup>
Fósforo (P)	116.85 ± 0.63 <sup>a</sup>	152.53 ± 0.29 <sup>b</sup>
Magnesio (Mg)	19.17 ± 0.32 <sup>a</sup>	51.56 ± 0.55 <sup>b</sup>
Sodio (Na)	220.45 ± 1.42 <sup>a</sup>	234.42 ± 1.50 <sup>b</sup>
Potasio (K)	77.56 ± 2.85 <sup>a</sup>	191.17 ± 4.33 <sup>b</sup>
<b>Microminerales (oligoelementos)</b>		
Cobre (Cu)	0.04 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.84 ± 0.09 <sup>b</sup>
Hierro (Fe)	2.60 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.51 ± 0.11 <sup>a</sup>
Zinc (Zn)	1.41 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.53 ± 0.02 <sup>b</sup>
Superíndices diferentes en una misma fila indican diferencias significativas a p<0.05		

Figura 6. Contenido (mg/100g) de los macrominerales calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio encontrados en los productos horneados (muffin) control y el adicionado con harina de los cotiledones de la semilla madura, cruda y sin testa de *Ebenopsis ebano*.

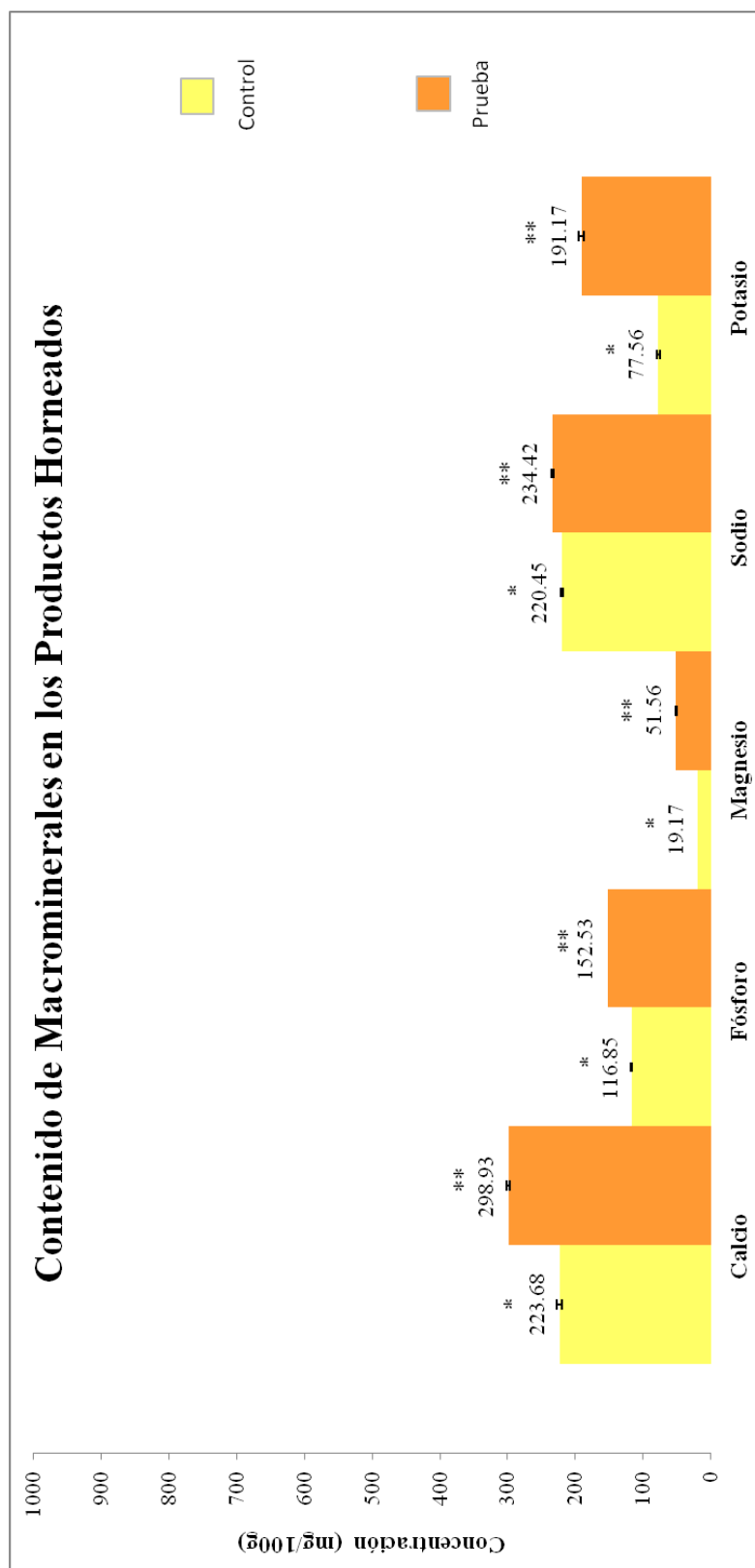
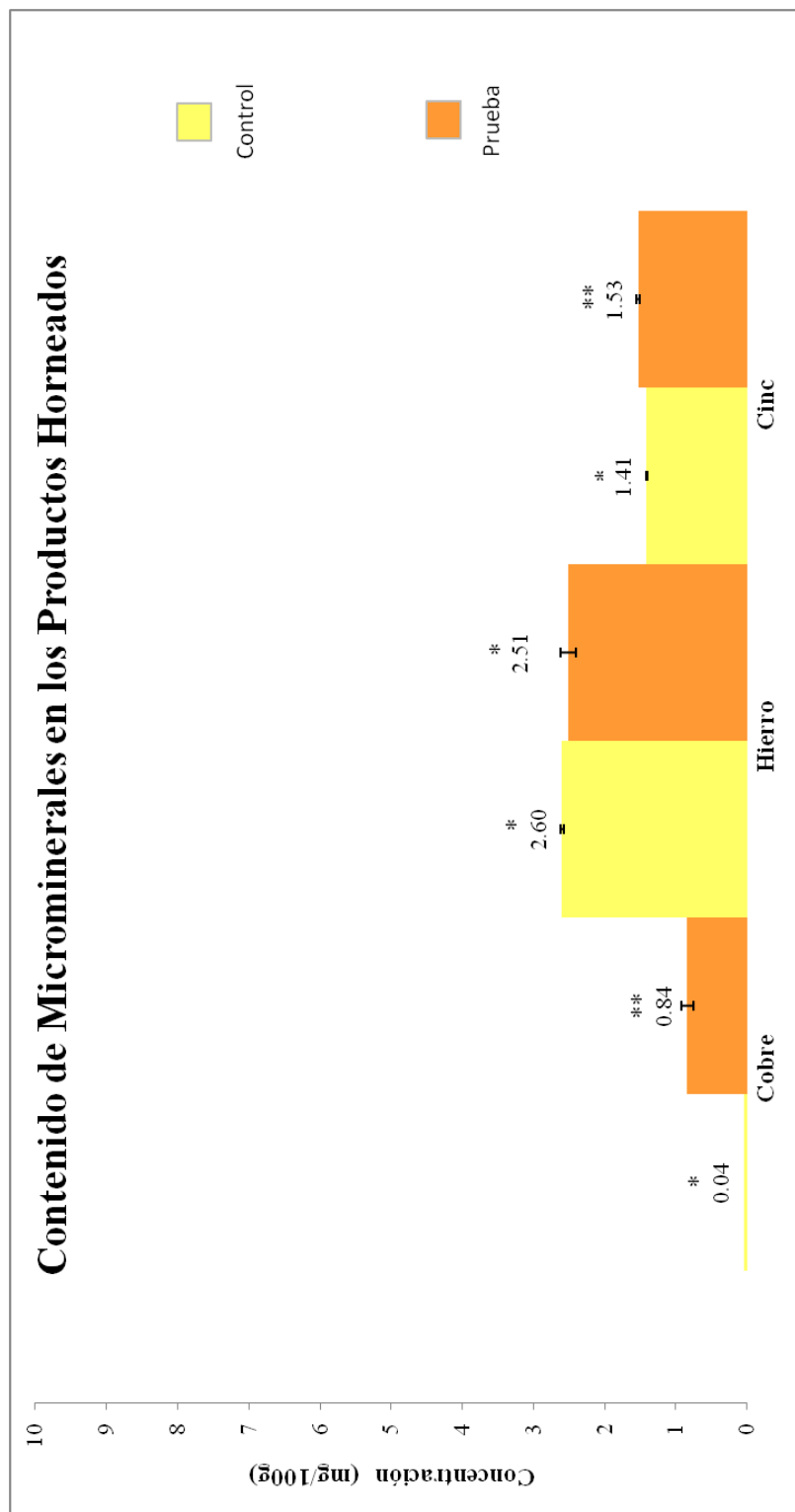


Figura 7. Contenido (mg/100g) de los microminerales u oligoelementos cobre, hierro y cinc encontrados en los productos horneados (muffin) control y el adicionado con harina de los cotiledones de la semilla madura, cruda y sin testa de *Ebenopsis ebano*.



#### **6.4. Evaluación biológica de la calidad de la proteína en los productos de panificación**

La digestibilidad verdadera de la proteína en los productos horneados elaborados a base de harina de trigo y con una mezcla de harinas (trigo y ébano), fue de 88.87 % y 81.42 % respectivamente existiendo una diferencia significativa entre los valores.

#### **6.5. Cálculo de la cuenta o puntaje químico corregido por la digestibilidad proteica**

Los valores calculados para la cuenta química corregida por la digestibilidad de la proteína (PDCAAS) fueron 33.85 para el producto control y 66.19 para el producto adicionado con harina de ébano. Si se considera el aporte aminoacídico de la leche y el huevo adicionados (en la misma cantidad en ambas formulaciones) los valores de PDCAAS son de 71.36 para el producto control y 80.04 para el producto adicionado con harina de ébano. La composición aminoacídica de la proteína de la leche y el huevo se muestra en el apéndice.

#### **6.6. Evaluación sensorial**

Si bien, instrumentalmente se detectaron diferencias en el color de la corteza y miga de los productos, sensorialmente no produjeron el rechazo del producto adicionado con ébano. Las opiniones reportadas por los 40 jueces consumidores en la prueba de nivel de agrado reflejan que un 50% y 45% de los mismos asignaron la calificación más alta (me gusta mucho) al muffin control y al adicionado con harina de ébano respectivamente. El 83% y 80% de los jueces asignaron una calificación satisfactoria (me gusta moderadamente o me gusta mucho) al producto control y al adicionado respectivamente.

## 7. DISCUSIÓN

Los valores obtenidos en el análisis proximal para la semilla de ébano madura, cruda, sin vaina y sin testa son similares a los reportados para esta misma semilla por otros autores en estudios previos (Giral, 1978; González, 1998, 2003; Gracia-Vázquez, 2009).

El contenido de humedad en los cotiledones de la semilla de ébano puede considerarse bajo, si se compara con el contenido de humedad reportado para la porción comestible de otras leguminosas (en estado maduro y crudo) de consumo común, que va desde 8.54% para la soya hasta 11.53% para el garbanzo (Martínez, 2000; USDA, 2006). Esto es relevante ya que un bajo contenido de humedad es sinónimo de una mayor estabilidad durante el almacenamiento.

La cantidad de cenizas en las leguminosas es variable al igual que su contenido de minerales, sin embargo, se puede establecer que el contenido de cenizas encontrado en la semilla de ébano analizada es similar al del lupino, menor que el reportada para el frijol pinto y la soya, y mayor que el de la lenteja, chícharo, haba y garbanzo (USDA, 2006).

En el caso de la semilla de ébano destacan su elevado contenido de lípidos y proteína y en el caso de la segunda, ésta se encuentra en niveles mayores a los reportados para otras leguminosas de grano de consumo común como son el frijol pinto, las lentejas, el chícharo, habas y garbanzos estando sólo por debajo del de la soya y el lupino (USDA, 2006). El contenido de proteína en la semilla de ébano es también superior al reportado para diferentes cultivares de cacahuete (Campos-Mondragón, 2009), siendo el valor más alto el reportado para el cultivar Ranferi Díaz (26.6%).

El contenido de lípidos en la semilla de ébano es de 26.60% valor varias veces por encima del encontrado en las leguminosas de grano ya mencionadas, como el frijol, la lenteja, chícharo, haba, para los que el valor máximo reportado es de 1.53% para la haba. El contenido de lípidos reportado para el lupino (9.74%), el garbanzo (6.04%) también es considerablemente más bajo (Martínez, 2000; USDA,

2006). Al comparar el contenido de lípidos de la semilla de ébano con el de leguminosas “oleaginosas” como la soya y el cacahuate, se encuentra que el ébano posee un contenido mayor al de la soya (19.9 %) e inferior al del cacahuate que va desde 49.8 % hasta 53.4 % según la variedad (Martínez, 2000; Campos-Mondragón, 2009; USDA, 2006), por lo que al estar en un punto intermedio entre cacahuate y soya, debería el ébano ser considerado también como una leguminosa oleaginosa.

Del mismo modo en el que se conoce desde hace mucho tiempo para las semillas leguminosas (Badui, 1999; Martínez, 2000), en el ébano, la fracción insaturada es la predominante con un 71.02%, en donde el oléico (35.47 %) y el linoléico (34.53 %) son respectivamente los ácidos grasos monoinsaturado y poliinsaturado presentes en mayor cantidad. El contenido de los ácidos grasos araquídico ó C20:0 (3.32 %), behénico ó C22:0 (2.00 %) y lignocérico ó C24:0 (1.03 %) es elevado en la semilla de ébano. De las leguminosas “oleaginosas” de consumo común, solo el cacahuate presenta cantidades significativas de éstos ácidos grasos y en el caso del ácido araquídico (1.30%), está por debajo del encontrado para el ébano en este estudio. El cacahuate posee cantidades mayores de los ácidos behénico (2.90%) y lignocérico (1.50%) que las encontradas en la semilla de ébano (Badui, 1999). La soya y las leguminosas de grano presentan contenidos de éstos ácidos grasos muy por debajo a los de la semilla de ébano (Badui, 1999; Ryan, 2007) a excepción de la lenteja que posee un 2.3%, 2.7% y 0.85% de los ácidos araquídico, behénico y lignocérico respectivamente (Martínez, 2000). El contenido de ácido behénico de la semilla de ébano muy parecido al que reportó Ryan para el alforfón o trigo moro (2.08%) en 2007.

La harina de semilla de ébano posee una cantidad de grasa saturada similar a la reportada para el frijol y superior a la de otras leguminosas como la soya, lenteja chícharo, haba, lupino y garbanzo (Martínez, 2000; USDA, 2006; Ryan, 2007). La harina de semilla de ébano posee una cantidad de grasa monoinsaturada superior a la reportada para otras leguminosas de consumo común como frijol pinto, soya, lenteja, chícharo, haba y garbanzo siendo solo superada por el lupino para el que se reportan valores de 52.29%. El contenido de grasa poliinsaturada en los cotiledones de la semilla de ébano es similar a la del lupino y es superado por el de otras leguminosas



cuyas fracciones lipídicas alcanzan desde un 46.73 para el frijol pinto hasta un 60 por ciento de grasa poliinsaturada para la soya y la lenteja (USDA, 2006; Ryan, 2007).

Según los datos presentados por Martínez (2000) y la base de datos de la USDA (2006), muy probablemente debido a su elevado contenido de lípidos, la semilla de ébano posee un contenido de fibra dietética total ligeramente menor al de la soya (9.30%) y también se encuentra por debajo del de leguminosas de grano como frijol (15.5%), garbanzo (17.4%), haba (25%), chícharo (25.5%) y lenteja (30.5%). Cabe mencionar que, a diferencia de la semilla de ébano que en este estudio se integró en forma de harina al producto sin ningún tratamiento adicional a la molienda y tamizado antes de ser sometido al tratamiento térmico de horneado, las leguminosas de grano son casi siempre remojadas y cocidas para poder ser consumidas lo que conlleva a un aumento en el contenido de humedad y una disminución en el de otros constituyentes por dilución o pérdidas por solubilización.

El contenido de fibra dietética de la semilla de ébano es mayor al de varios cultivares de cacahuete según Campos-Mondragón (2009) que va desde 3.3 a 4.4%, esto debido probablemente a que el cacahuete posee casi el doble del contenido de lípidos presente en la semilla de ébano.

La semilla de ébano madura, cruda, sin vaina y sin testa posee un aporte calórico (o valor energético) de 458 kcal/100g de harina, valor ligeramente por encima del rango promedio reportado por Martínez, *et al.* (2000) que va desde 280 para leguminosas de grano hasta 400 kcal/100g para las leguminosas de tipo oleaginosas. Para el cacahuete se reporta un aporte calórico más elevado de 570 kcal/100g debido a su elevado contenido de lípidos (USDA, 2006).

Al comparar el contenido de minerales en la semilla de ébano con el de otras leguminosas de consumo común se observa que el contenido de calcio en el harina de los cotiledones de la semilla madura cruda (porción comestible) de ébano fue de 366 mg/100g. Este valor es superior al reportado por la base de datos nacional del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y otras publicaciones para la porción comestible de otras leguminosas como el chícharo, lenteja, haba,

garbanzo, frijol, lupino e incluso la soya la cual alcanza valores de 277 mg/100g (Martínez, 2000; USDA, 2006).

El contenido de fósforo reportado para distintas leguminosas, alcanza valores desde 366 mg/100g para garbanzo y chícharo, 411 mg/100g para el frijol pinto, 421 mg/100g y 440 mg/100g para haba y lupino respectivamente hasta los 704 mg/100g en la soya (Maldonado, 2000; USDA, 2006). Los niveles de fósforo de la semilla de ébano (357.17 mg/100g) son entonces similares a los reportados para chícharo y garbanzo y menores a los de las otras leguminosas mencionadas. Existen reportados para la lenteja, contenidos superiores (USDA, 2006) e inferiores (Maldonado, 2000) de fósforo comparados con los encontrados para la semilla de ébano. Los valores bajos de fósforo en la harina de semilla de ébano serían entonces un indicativo de bajos niveles de fitatos en la misma. Por otro lado, si un proceso de tostado a 90 °C durante 10 minutos provoca una reducción del 23.54 % en el contenido de fitatos, es muy probable que el tratamiento térmico más intenso (205°C durante 18 minutos) al que fue sometida la harina de ébano en este estudio durante el horneado haya tenido un efecto similar o mayor sobre éstos compuestos.

El contenido de magnesio en semilla de ébano (240.34 mg/100g) se encuentra por arriba de los declarados para otras leguminosas como lupino, haba (con 198 y 192 mg/100g), frijol pinto (176 mg/100g), lenteja (122 mg/100g), chícharo y garbanzo (ambos con 115 mg/100g), siendo superado por la semilla de soya, que posee un contenido de magnesio de 280 mg/100g (Martínez, 2000; USDA, 2006).

El contenido de sodio en la semilla de ébano (21.82 mg/100g) es similar al reportado para el garbanzo, que es de 24 mg/100g. Aunque la concentración de sodio encontrada en la semilla de ébano podría considerarse baja, es superior a las reportadas para otras leguminosas como lupino, haba, frijol pinto y chícharo cuyos niveles de sodio oscilan entre los 12 y 15 mg/100g, y a las reportadas para soya y lenteja que son de tan solo 2 y 6 mg/100g respectivamente. El contenido de potasio en la semilla de ébano es inferior al reportado para las otras leguminosas ya mencionadas, cuyas concentraciones de alcanzan desde los 875 y 955 mg/100g para el garbanzo y la lenteja hasta 1393 y 1797 mg/100g en el frijol pinto y la soya (USDA, 2006).

Resulta de notoriedad la concentración elevada de cobre determinada en la harina de semilla de ébano, que fue de 1.67mg/100g, al compararla con los 0.11 mg/100g contenidos en el harina de trigo utilizada. El contenido de cobre en la semilla de ébano, es muy similar al reportado para la soya, 1.38 mg/100g según Maldonado (2000) y 1.66 mg/100g (USDA, 2006). El contenido de cobre en la semilla de ébano es superior a los reportados para lupino, frijol pinto, chícharo, garbanzo, haba y lenteja que oscilan entre los 0.17 y 1.02 miligramos por cada 100 gramos de porción comestible de la leguminosa cruda (Cabrera, 2003; USDA, 2006).

El contenido de cinc en la semilla de ébano es de 3.77 mg/100g, éste valor es superior al reportado para el frijol pinto, garbanzo, chícharo y habas. Por otro lado éste valor se haya por debajo de los encontrados en el lupino y la soya (Martínez, 2000; Maldonado, 2000; USDA, 2006). Cabrera (2003) reporta un contenido de cinc en lenteja (5.65 mg/100g) mayor al de la semilla de ébano y contenidos similares al de la semilla de ébano para garbanzo, haba y chícharo. En el caso de la lenteja existen reportados valores superiores (USDA, 2006) e inferiores (Martínez, 2000; Maldonado, 2000) a los de la semilla de ébano.

No se encontró en el presente estudio, una diferencia significativa entre el contenido de hierro de las harinas de trigo (4.23 mg/100g) y ébano (4.26 mg/100g), esto se debió seguramente a que la harina de trigo utilizada en el estudio fue enriquecida con hierro (3.5mg/100g de harina). La USDA (2006) en su base de datos reporta un contenido de hierro de 4.64 mg/100g en harina de trigo todo propósito blanqueada y enriquecida y por otro lado, Maldonado (2000) reporta un contenido de hierro de 4.24 mg/100g en granos de trigo entero.

Comparando a la semilla de ébano con otras leguminosas se observa que el contenido de hierro en la misma (4.26 mg/100g) es similar al reportado para el cacahuete y el lupino (USDA, 2006). Martínez (2000), Maldonado (2000), Cabrera (2003) y la USDA reportan valores para hierro superiores a los encontrados en la semilla de ébano en frijol, soya, lenteja y haba. En el caso particular del chícharo, Cabrera (2003) reporta un contenido de hierro inferior al del ébano, Martínez (2000) un contenido mayor, y la USDA (2006) un contenido similar.

Según el análisis matemático por computadora basado en puntajes químicos de diferentes mezclas de harinas de trigo y ébano 64:36 (trigo:ébano) es la relación idónea. Este resultado coincide con la afirmación realizada por López y Bressani (2008) que menciona que la combinación de un cereal con una leguminosa, en una proporción por peso de 7 a 3 mejora la calidad proteica de las dietas.

Para el presente estudio, se optó por modificar las cantidades de algunos ingredientes como el agua y polvo para hornear mencionadas en la receta original de Serna (2003) para muffins regulares debido a que es un hecho que para productos horneados (aunque no requieran de un elevado desarrollo de gluten como los elaborados en el presente estudio) la sustitución parcial de la harina de trigo por otro tipo de harina, sea de leguminosas, cereales y tubérculos afecta las características sensoriales de los productos finales (Granito, 2010). Se adicionó además goma arábiga con la única finalidad de obtener un esponjado adecuado a pesar de la dilución del gluten producido por la adición de harina de ébano, y limitar de este modo, el efecto negativo sobre las características físicas del producto final suplementado tales como el volumen, altura y la textura.

El muffin elaborado con un 36% de harina de cotiledones de *Ebenopsis ebano* posee un contenido de proteínas que alcanza los 9.70 g/100g, bastante elevado si se compara con el producto control que tiene 6.83 g/100g. El etiquetado de dos diferentes marcas de muffins en el mercado local reporta 5.90 y 5.92 gramos de proteína en 100 gramos de producto.

Se observó un mayor contenido de fibra dietética total en el producto adicionado con semilla de ébano (3.01%) que en el producto control a base de trigo (1.90%) y como consecuencia, también la humedad fue mayor en el producto adicionado debido muy probablemente a la capacidad de retención de agua de la fibra. El mismo efecto fue reportado por Grijelmo-Miguel (1999) en muffins adicionados con fruta.

El muffin a prueba (39.38%) posee un contenido menor de carbohidratos disponibles que el producto control (45.6%) lo cual es favorable desde un punto de vista nutricional.

El contenido de grasa total en ambos productos no presenta diferencias significativas lo cual se pudo explicar por el ajuste que se hizo en la formulación del producto adicionado con harina de ébano, en donde se sustrajo el peso de lípidos aportado por dicha harina, al peso de la grasa mixta utilizada en la preparación, para lograr una diferencia en las proporciones de grasa saturada e insaturada sin alterar el contenido total de lípidos en el producto final. Al modificarse la composición de la grasa en el producto a prueba (suplementado) como consecuencia de la adición con harina de ébano, se afectó positivamente el perfil lipídico del mismo ya que se disminuyó el contenido de grasa saturada y monoinsaturada y se aumentó el de la poliinsaturada. Debido a que se utilizó leche en polvo como ingrediente en los productos horneados, ambos, con y sin adición de harina de ébano contienen grasa butírica, aunque en bajas cantidades debido al efecto de dilución.

Si se considera que las cantidades de los ingredientes en la formulación de los productos horneados, a excepción de las harinas fueron las mismas, las diferencias en el contenido de minerales (al igual que los demás nutrientes estudiados) son entonces atribuibles a la adición de harina de ébano. El producto adicionado con harina de ébano posee cantidades mayores de todos los minerales analizados (a excepción del hierro), siendo el contenido más elevado el de calcio (298.93 mg/100g) seguido en abundancia por el sodio (234.42 mg/100g), potasio (191.17 mg/100g), fósforo (152.53 mg/100g) y magnesio (51.56 mg/100g). Las dos marcas de muffins regulares mencionados arriba adquiridos en comercios de la localidad reportan contenidos de sodio de 333 y 317 mg/100g respectivamente, que están por encima de los encontrados en este estudio y que se deben probablemente al tipo y cantidad de polvo para hornear y sal utilizados.

En el caso de los oligoelementos o microminerales, el hierro se haya presente en la misma cantidad en ambos productos gracias al enriquecimiento de la harina de trigo utilizada. El contenido de cinc y cobre es mayor en el producto adicionado con harina de ébano con 1.53 y 0.84 mg/100g respectivamente.

En las pruebas sensoriales de preferencia y aceptación el panel evaluador no encontró diferencia significativa entre el producto control a base de harina de trigo y el producto adicionado con harina de semilla de ébano, lo que significaría que el

producto suplementado fue aceptado de igual manera que el control a pesar de que si se hayan encontrado diferencias significativas en el volumen, altura y densidad de los productos y que los jueces hayan descrito diferencias en el sabor y aroma de los productos. Lo anterior hace suponer que la semilla de ébano presenta el mismo fenómeno reportado para el cacahuete, otra leguminosa de tipo oleaginosa, donde desde el punto de vista de los consumidores, el aroma y textura agradables y la nota de sabor a “nuez” de la semilla tostada, son cualidades que lo colocan por encima de otras leguminosas (Singh, 1991).

El volumen específico y la altura del producto adicionado con harina de ébano son más bajos y el peso unitario y la densidad más altos que los del producto control como consecuencia de la adición, sin embargo, como ya se mencionó antes, no tuvo un impacto significativo sobre la aceptación del producto por parte de los jueces consumidores en las pruebas sensoriales. Instrumentalmente se determinó que la adición de harina de ébano disminuye la luminosidad de la corteza y no afecta la de la miga, además incrementa el tono amarillo de la miga y el tono rojo de la corteza en los productos horneados.

Tal como se esperaba por contener harina de una leguminosa, el valor de digestibilidad verdadera para la proteína del producto a prueba (81.42%) fue menor que el de la proteína del producto control (88.87%) elaborado a base de harina de trigo únicamente. Sin embargo, la adición de harina de semilla de ébano produjo un aumento sustancial en el contenido de proteína y en el puntaje químico, por lo tanto al comparar los valores de PDCAAS, este es mayor para el producto a prueba adicionado con harina de ébano. Al haberse añadido cantidades iguales de huevo y leche al producto control y al adicionado con ébano, se consideró que dicha adición no afectaría al proceso comparativo permitiendo llegar a la misma conclusión si se tomaban en cuenta o no los aportes aminoacídicos de estos dos ingredientes al elegir la mezcla de harinas idónea. Lo anterior se comprobó al analizarse los resultados, por lo que el aumento en la calidad proteica del producto adicionado con respecto al control, es entonces atribuible a la adición de la semilla madura, cruda, sin vaina y sin testa de *Ebenopsis ebano*.

Se logró incrementar no solamente la cantidad de proteína en el producto adicionado, sino también la calidad de la misma, dicho de otra forma, al consumir el producto adicionado, se digiere un porcentaje ligeramente más bajo de una cantidad considerablemente mayor de proteína la cual además posee un mejor perfil aminoacídico por lo que se produjo la ya antes mencionada “complementación proteica”.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión, es posible la incorporación de hasta un 36% de harina de *Ebenopsis ebano* al muffin elaborado tradicionalmente con harina de trigo, aumentando de este modo el contenido y la calidad de su proteína sin perder las características sensoriales deseables para el consumidor promedio.

El contenido de fibra dietética, grasa poliinsaturada y minerales también se incrementan. Esto sucede sin afectar notoriamente sus características físicas y organolépticas, al no existir una preferencia o aceptación significativas por parte de los jueces consumidores para alguno de los dos productos en particular. Es decir, la adición de harina de la leguminosa *Ebenopsis ebano*, hasta un nivel de 36% no produce un rechazo por parte del consumidor, convirtiéndose en un atractivo complemento para la dieta.

Se propone el producto desarrollado, un muffin (bizcochuelo o panqué) elaborado con harina de trigo y adicionado con harina de la semilla de *Ebenopsis ebano* como un vehículo para llevar a poblaciones susceptibles (con una alimentación nutricionalmente deficiente, o aquellas en las que predomine la ingestión de dietas con alta densidad energética y bajas en fibra), un alimento que aporte un mayor contenido de proteína de buena calidad, fibra dietética, minerales y grasa poliinsaturada que el producto elaborado tradicionalmente a base de harina de trigo exclusivamente.



## **APENDICE**

Composición proximal obtenida para la leche entera de vaca en polvo utilizada en el las formulaciones.	
Determinación	Resultado
Humedad (%)	3.12 ± 0.03
Ceniza (%)	5.75 ± 0.04
Proteína (%)	24.66 ± 0.51
Grasa (%)	28.09 ± 0.22
Fibra Dietética Total (%)	ND <sup>1</sup>
Extracto Libre de Nitrógeno (%)	38.38 ± 0.28
<sup>1</sup> / No Determinado.	

Composición proximal obtenida para el huevo fresco utilizado en el las formulaciones.	
Determinación	Resultado
Humedad (%)	75.16 ± 0.01
Ceniza (%)	0.93 ± 0.01
Proteína (%)	11.97 ± 0.12
Grasa (%)	10.11 ± 0.04
Fibra Dietética Total (%)	ND <sup>1</sup>
Extracto Libre de Nitrógeno (%)	1.83 ± 0.14
<sup>1</sup> / No Determinado.	

Composición aminoacídica de la proteína en la leche de vaca entera en polvo y el huevo fresco <sup>1</sup> .		
Aminoácidos esenciales (mg/g de proteína)	Leche en Polvo	Huevo Fresco
Isoleucina	64.6	56.1
Leucina	104.5	90.7
Lisina	84.6	76.2
Metionina + Cistina	36.6	54.5
Fenilalanina + Tirosina	103.0	98.5
Treonina	48.2	46.4
Triptofano	15.0	14.0
Valina	71.5	71.7
Histidina	29.0	25.8
Aminoácidos esenciales (mg/g de proteína)	Leche en Polvo	Huevo Fresco
Ácido aspártico	81.0	111.0
Serina	58.1	81.1
Ácido glutámico	223.5	139.8
Prolina	103.4	42.8
Glicina	22.6	36.1
Alanina	36.8	61.4
Arginina	38.6	68.5

<sup>1</sup>/ Según la Base de Datos Nacional del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA (2006).

Valores de cómputo o puntaje químico para diferentes mezclas de harina de trigo y harina de los cotiledones de la semilla madura cruda y sin testa de la leguminosa *Ebenopsis ebano*, considerando el aporte aminoacídico de la leche en polvo y el huevo fresco adicionados.

Mezcla de Harinas		Cómputo Químico <sup>1</sup>		
Harina Trigo (%)	Harina Ébano (%)	Lisina	Metionina + Cistina	Triptofano
100	0	0.803	1.704	1.205
90	10	0.866	1.536	1.123
80	20	0.918	1.399	1.056
70	30	0.960	1.286	1.001
65	35	0.979	1.236	0.976
64	36	0.983	1.226	0.972
63	37	0.986	1.217	0.967
60	40	0.996	1.190	0.954
0	100	1.132	0.828	0.778

<sup>1</sup> / Calculado a partir de los valores para Caseína (FAO/WHO, niños en edad preescolar de 2 a 5 años) como proteína de referencia (1985).

Metodologías oficiales para la determinación del análisis proximal.	
Determinación	Metodología
Humedad	AOAC 935.29
Ceniza	AOAC 923.03
Proteína cruda	AOAC 920.87
Extracto etéreo (lípidos) ó Grasa cruda <sup>1</sup>	AOAC 920.39 AOAC 954.02
Extracto libre de nitrógeno (carbohidratos)	Por diferencia
<sup>1</sup> / Hidrólisis ácida para los productos horneados y extracto etéreo para las harinas.	

Determinaciones adicionales al análisis proximal que se realizaron a las harinas y productos horneados.	
Determinación	Metodología
Fibra dietética total	AOAC 985.29
Perfil de ácidos grasos	AOAC 969.33, Cromatografía de gases
Minerales	Chavan, <i>et al.</i> (1999)
Fósforo	AOAC 965.17
Digestibilidad de la proteína	FAO/OMS (1989)

Composición proximal y contenido nutrimental reportado para la harina de trigo <i>Triticum aestivum</i> , “todo propósito”, blanqueada y enriquecida.	
Análisis proximal (%)	Valor
Humedad	11.92
Sólidos Totales	88.08
Proteína	10.33
Grasa	0.98
Ceniza	0.47
ELN	76.31
FDT	2.70
Minerales (mg/100g)	Valor
Calcio	15
Fierro	4.64
Magnesio	22
Fósforo	108
Potasio	107
Sodio	2
Cinc	0.70
Cobre	0.144
Manganeso	0.682
Selenio	33.9
Lípidos (g/100g de harina)	Valor
Grasa Saturada	0.155
C16:0	0.148
C18:0	0.007
Grasa Monoinsaturada	0.087
C18:1	0.087
Grasa Poliinsaturada	0.413
C18:2	0.391
C18:3	0.022
Composición de la Grasa	Valor
Grasa Saturada (%)	23.67
Grasa Monoinsaturada (%)	13.28
Grasa Poliinsaturada (%)	63.05
Fuente: United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference (2006).	

Composición proximal y contenido nutrimental reportado para el frijol pinto, <i>Phaseolus vulgaris</i> . Semilla madura, cruda (porción comestible).	
Análisis proximal (%)	Valor
Humedad	11.33
Sólidos Totales	88.67
Proteína	21.42
Grasa	1.23
Ceniza	3.46
ELN	62.55
FDT	15.50
Minerales (mg/100g)	Valor
Calcio	113
Fierro	5.07
Magnesio	176
Fósforo	411
Potasio	1393
Sodio	12
Cinc	2.28
Cobre	0.893
Manganeso	1.148
Selenio	27.90
Lípidos (g/100g)	Valor
Grasa Saturada	0.235
C14:0	0.001
C16:0	0.229
C18:0	0.005
Grasa Monoinsaturada	0.229
C18:1	0.229
Grasa Poliinsaturada	0.407
C18:2	0.170
C18:3	0.237
Total de Ácidos Grasos (g/100g)	0.871
Composición de la Grasa	Valor
Grasa Saturada (%)	26.98
Grasa Monoinsaturada (%)	26.29
Grasa Poliinsaturada (%)	46.73
Fuente: United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference (2006).	

Composición proximal y contenido nutrimental reportado para la soya, <i>Glycine max.</i> Semilla madura, cruda (porción comestible).	
Análisis proximal (%)	Valor
Humedad	8.54
Sólidos Totales	91.46
Proteína	36.49
Grasa	19.94
Ceniza	4.87
ELN	30.16
FDT	9.30
MINERALES (mg/100g)	Valor
Calcio	277
Fierro	15.7
Magnesio	280
Fósforo	704
Potasio	1797
Sodio	2
Cinc	4.89
Cobre	1.658
Manganeso	2.517
Selenio	17.8
Lípidos (g/100g)	Valor
Grasa Saturada	2.884
C14:0	0.055
C16:0	2.116
C18:0	0.712
Grasa Monoinsaturada	4.404
C16:1	0.055
C18:1	4.348
Grasa Poliinsaturada	11.255
C18:2	9.925
C18:3	1.330
Total de Ácidos Grasos (g/100g)	18.543
Composición de la Grasa	Valor
Grasa Saturada (%)	15.55
Grasa Monoinsaturada (%)	23.75
Grasa Poliinsaturada (%)	60.70
Fuente: United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference (2006).	



Composición proximal y contenido nutrimental reportado para el cacahuate, <i>Arachis hypogaea</i> . Semilla madura, cruda (porción comestible).	
Análisis proximal (%)	Valor
Humedad	6.39
Sólidos Totales	93.61
Proteína	26.15
Grasa	49.60
Ceniza	2.03
ELN	15.82
FDT	9.50
MINERALES (mg/100g)	Valor
Calcio	106
Fierro	3.91
Magnesio	188
Fósforo	388
Potasio	744
Sodio	22
Cinc	2.12
Cobre	0.9
Manganeso	2.64
Selenio	7.2
Lípidos (g/100g)	Valor
Grasa Saturada	7.64
C14:0	0.03
C16:0	5.67
C18:0	1.29
Grasa Monoinsaturada	22.33
C16:1	0.04
C18:1	21.76
C20:1	0.52
Grasa Poliinsaturada	17.20
C18:2	17.19
C18:3	0.01
Total de Ácidos Grasos (g/100g)	47.17
Composición de la Grasa	Valor
Grasa Saturada (%)	16.20
Grasa Monoinsaturada (%)	47.30
Grasa Poliinsaturada (%)	36.50
Fuente: United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference (2006).	

Composición proximal y contenido nutrimental reportado para la Lenteja, <i>Lens culinaris</i> . Semilla madura, cruda (porción comestible).	
Análisis proximal (%)	Valor
Humedad	10.40
Sólidos Totales	89.60
Proteína	25.80
Grasa	1.06
Ceniza	2.67
ELN	60.08
FDT	30.50
Minerales (mg/100g)	Valor
Calcio	56
Fierro	7.54
Magnesio	122
Fósforo	451
Potasio	955
Sodio	6.0
Cinc	4.78
Cobre	0.519
Manganeso	1.33
Selenio	8.3
Lípidos (g/100g)	Valor
Grasa Saturada	0.156
C14:0	0.003
C16:0	0.133
C18:0	0.015
Grasa Monoinsaturada	0.189
C16:1	0.003
C18:1	0.180
C20:1	0.006
Grasa Poliinsaturada	0.516
C18:2	0.404
C18:3	0.109
Total de Ácidos Grasos (g/100g)	0.861
Composición de la Grasa	Valor
Grasa Saturada (%)	18.12
Grasa Monoinsaturada (%)	21.95
Grasa Poliinsaturada (%)	59.93
Fuente: United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference (2006).	

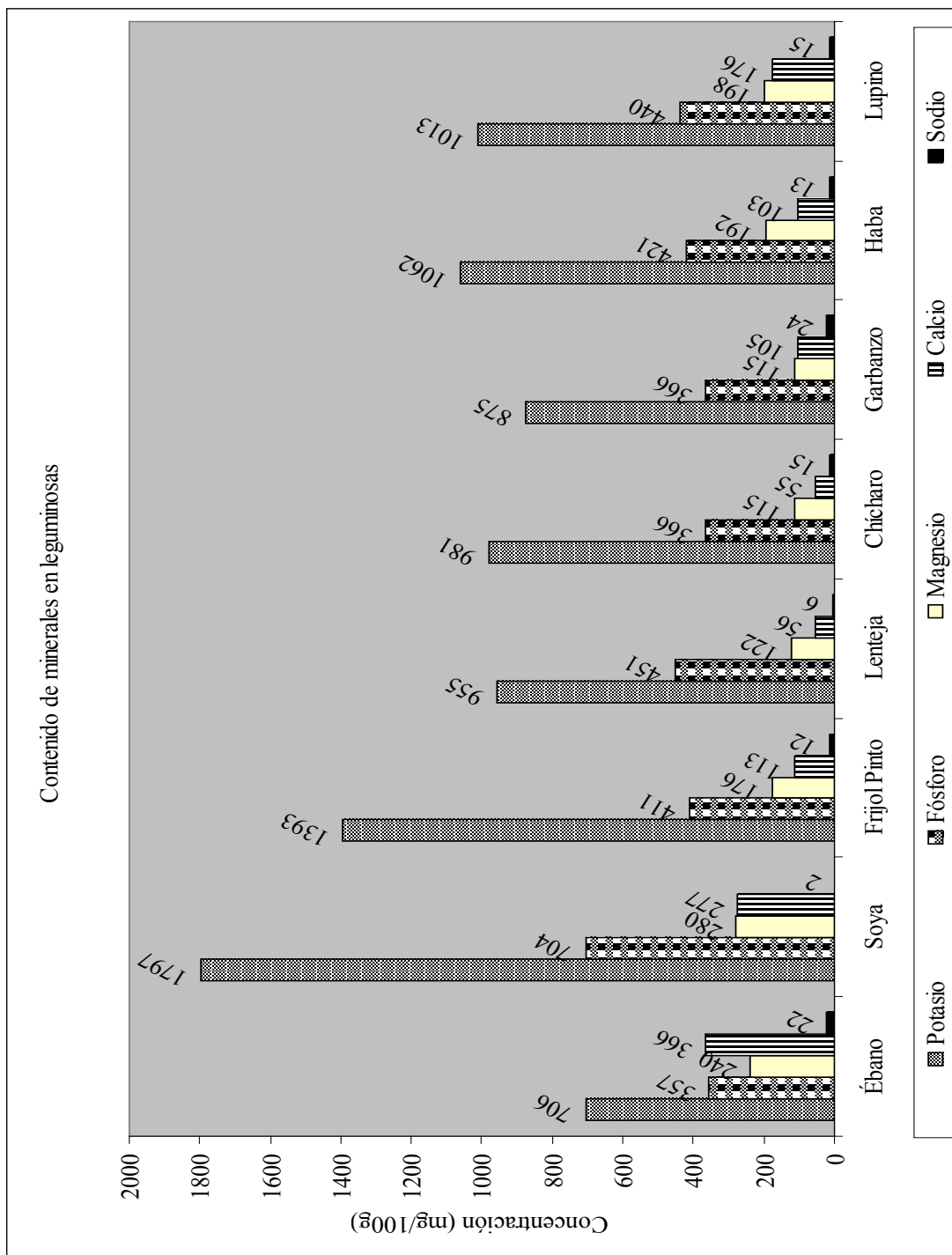
Composición proximal y contenido nutrimental reportado para el chícharo, <i>Pisum sativum</i> . Semilla madura, cruda (porción comestible).	
Análisis Proximal (%)	Valor
Humedad	11.27
Sólidos Totales	88.73
Proteína	24.55
Grasa	1.16
Ceniza	2.65
ELN	60.37
FDT	25.50
Minerales (mg/100g)	Valor
Calcio	55
Fierro	4.43
Magnesio	115
Fósforo	366
Potasio	981
Sodio	15
Cinc	3.01
Cobre	0.866
Manganeso	1.391
Selenio	1.6
Lípidos (g/100g)	Valor
Grasa Saturada	0.161
C12:0	0.003
C14:0	0.002
C16:0	0.125
C18:0	0.031
Grasa Monoinsaturada	0.242
C18:1	0.232
C20:1	0.010
Grasa Poliinsaturada	0.495
C18:2	0.411
C18:3	0.084
Total de Ácidos Grasos (g/100g)	0.898
Composición de la Grasa	Valor
Grasa Saturada (%)	17.93
Grasa Monoinsaturada (%)	26.95
Grasa Poliinsaturada (%)	55.12
Fuente: United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference (2006).	

Composición proximal y contenido nutrimental reportado para el haba, <i>Vicia faba</i> . Semilla madura, cruda (porción comestible).	
Análisis proximal (%)	Valor
Humedad	10.98
Sólidos Totales	89.02
Proteína	26.12
Grasa	1.53
Ceniza	3.08
ELN	58.29
FDT	25.00
Minerales (mg/100g)	Valor
Calcio	103
Fierro	6.70
Magnesio	192
Fósforo	421
Potasio	1062
Sodio	13
Cinc	3.14
Cobre	0.824
Manganeso	1.626
Selenio	8.2
Lípidos (g/100g)	Valor
Grasa Saturada	0.254
C12:0	0.004
C14:0	0.002
C16:0	0.204
C18:0	0.031
Grasa Monoinsaturada	0.303
C16:1	0.002
C18:1	0.297
Grasa Poliinsaturada	0.627
C18:2	0.581
C18:3	0.046
Total de Ácidos Grasos (g/100g)	1.184
Composición de la Grasa	Valor
Grasa Saturada (%)	21.45
Grasa Monoinsaturada (%)	25.59
Grasa Poliinsaturada (%)	52.96
Fuente: United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference (2006).	

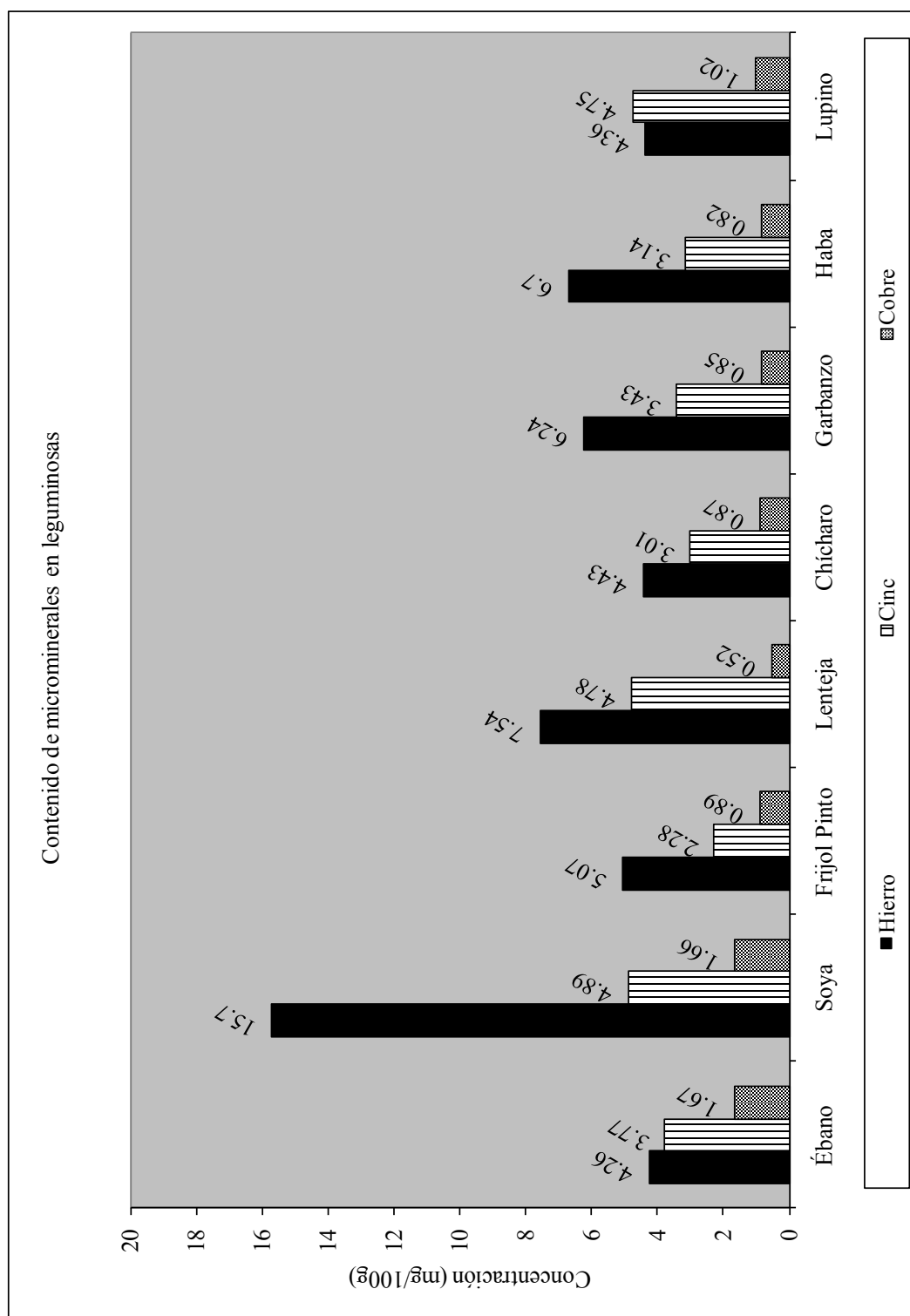
Composición proximal y contenido nutrimental reportado para el lupino, <i>Lupinus albus</i> . Semilla madura, cruda (porción comestible).	
Análisis Proximal (%)	Valor
Humedad	10.44
Sólidos Totales	89.56
Proteína	36.17
Grasa	9.74
Ceniza	3.28
ELN	40.38
FDT	ND
Minerales (mg/100g)	Valor
Calcio	176
Fierro	4.36
Magnesio	198
Fósforo	440
Potasio	1013
Sodio	15
Cinc	4.75
Cobre	1.022
Manganeso	2.382
Selenio	8.2
Lípidos (g/100g)	Valor
Grasa Saturada	1.156
C12:0	0.008
C14:0	0.013
C16:0	0.742
C18:0	0.316
Grasa Monoinsaturada	3.94
C16:1	0.034
C18:1	3.558
C20:1	0.255
C22:1	0.093
Grasa Poliinsaturada	2.439
C18:2	1.995
C18:3	0.446
Total de Ácidos Grasos (g/100g)	7.535
Composición de la Grasa	Valor
Grasa Saturada (%)	15.34
Grasa Monoinsaturada (%)	52.29
Grasa Poliinsaturada (%)	32.37
Fuente: United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference (2006).	

Composición proximal y contenido nutrimental reportado para el garbanzo, <i>Cicer arietinum</i> . Semilla madura, cruda (porción comestible).	
Análisis Proximal (%)	Valor
Humedad	11.53
Sólidos Totales	88.47
Proteína	19.3
Grasa	6.04
Ceniza	2.48
ELN	60.65
FDT	17.4
Minerales (mg/100g)	Valor
Calcio	105
Fierro	6.240
Magnesio	115
Fósforo	366
Potasio	875
Sodio	24
Cinc	3.430
Cobre	0.847
Manganeso	2.204
Selenio	8.2
Lípidos (g/100g)	Valor
Grasa Saturada	0.626
C14:0	0.009
C16:0	0.501
C18:0	0.085
Grasa Monoinsaturada	1.358
C16:1	0.012
C18:1	1.346
Grasa Poliinsaturada	2.694
C18:2	2.593
C18:3	0.101
Total de Ácidos Grasos (g/100g)	4.678
Composición de la Grasa	Valor
Grasa Saturada (%)	13.38
Grasa Monoinsaturada (%)	29.03
Grasa Poliinsaturada (%)	57.59
Fuente: United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference (2006).	

Comparación del contenido (mg/100g) de los macrominerales calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio en los cotiledones de la semilla madura, cruda y sin testa de *Ebenopsis ebano* y otras leguminosas de consumo común (USDA, 2006).



Comparación del contenido (mg/100g) de los microminerales u oligoelementos hierro, cinc y cobre en los cotiledones de la semilla madura, cruda y sin testa de *Ebenopsis ebano* y otras leguminosas de consumo común (USDA, 2006).





Hoja Técnica de la Mezcla de Minerales AIN 76	
Composición	
Ingrediente	Cantidad (g/kg)
Fosfato de calcio dibásico	500.00
Cloruro de sodio	74.00
Citrato de potasio monohidratado	220.00
Sulfato de Potasio	52.00
Óxido de Magnesio	24.00
Carbonato de Manganeso (43-48% Mn)	3.50
Citrato férrico (16-17% Fe)	6.00
Carbonato de zinc (70% ZnO)	1.60
Carbonato cúprico (53-55% Cu)	0.30
Yodato de Potasio	0.01
Selenito de sodio	0.01
Sulfato de cromo y potasio	0.55
Sacarosa en polvo (fino)	118.00
Fuente: Nutritional Biochemicals, Cleveland OH, USA.	

Hoja Técnica de la Mezcla de Vitaminas AIN 76	
Composición	
Ingrediente	Cantidad (g/kg)
Hidrocloruro de tiamina	0.6
Riboflavina	0.6
Hidrocloruro de piridoxina	0.7
Ácido nicotínico	3.0
D-pantotenato de calcio	1.6
Ácido fólico	0.2
D-biotina	0.02
Cianocobalamina (Vitamina B12)	0.001
Palmitato de retinil (Vitamina A 250,000 UI/g)	1.6
DL- $\alpha$ -acetato de tocoferol (250 UI/g)	20.0
Colecalciferol (Vitamina D3 400,000 UI/g)	0.25
Menaquinona (Vitamina K2)	0.005
Sacarosa en polvo (fino)	972.9
Fuente: Nutritional Biochemicals, Cleveland OH, USA.	

Formato utilizado para la encuesta en las evaluaciones sensoriales de los productos horneados.

# ENCUESTA

Gracias de antemano, por el tiempo invertido en la realización de esta prueba.

A continuación se le presentarán dos muestras de pan, pruebe por favor las muestras por separado y en el orden que se le presentan y responda el cuestionario según las siguientes instrucciones:

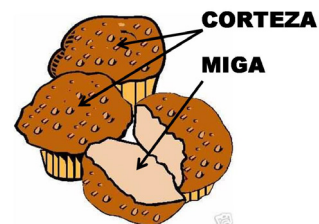
Pruebe la primera muestra y responda lo que se le pide en las preguntas 1 y 2, después pruebe la segunda muestra y responda las preguntas 1 y 2 nuevamente. Al final de la prueba, responda por favor la pregunta 3 y los comentarios.

1. Marque con una X el renglón que corresponda a su opinión.

La muestra 515 le gusta? Si \_\_\_ No \_\_\_  
La muestra 636 le gusta? Si \_\_\_ No \_\_\_

2. Marque con una X el renglón que indique **según la escala**, su opinión GLOBAL sobre cada una de las muestras.

ESCALA	Muestras	
	515	636
Me gusta mucho		
Me gusta moderadamente		
Me gusta poco		
Ni me gusta ni me disgusta		
Me disgusta poco		
Me disgusta moderadamente		
Me disgusta mucho		



3. Diga cual de las dos muestras prefiere (no se permiten empates): \_\_\_\_\_

**Comentarios:** Porqué preferí la muestra de producto señalada en la pregunta anterior con respecto a la otra. Sea lo mas específico(a) posible.

---



---



---



---



---

**MUCHAS GRACIAS POR SU AYUDA**

**LITERATURA CITADA**

1. AACC, 2001. Report of the Dietary Fiber Definition Committee to the Board of Directors of the American Association Of Cereal Chemists W-2001-0222-01O. *Cereal Foods World*. 46(3): 112-126.
2. Abeywardena MY, McLeannan PL, Charnock JS. 1991. Differential effects of dietary fish oil on myocardial prostaglandin 12 and thromboxane A2 production. *American Journal of Physiology*. 260:379-385.
3. Adrian J, Potus J, Poiffait A, Dauvillier P. 2000. Análisis Nutricional de los Alimentos. Editorial Acribia:Zaragoza, España. Pp. 249-250.
4. Aguilar J, Ontiveros M, Martínez JJ. 2004 Elaboración de un pan tipo sema con diferentes concentraciones de harina de trigo y harina de lenteja y su evaluación de textura y nivel de agrado. En: VI Congreso de Ciencia de los Alimentos, 10/11 de junio de 2004, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. San Nicolás de los Garza: Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
5. Alanís GJ. 1996 Vegetación y flora de Nuevo León: una guía botánico-ecológica. Monterrey, Nuevo León: Consejo Consultivo para la preservación y fomento de la flora y fauna silvestre de Nuevo León.
6. Alanís-Guzmán MG, González-Quijada MR, Mercado-Hernández R. 1998. Efecto de la cocción sobre la composición química y valor nutricional de la semilla de *Pithecellobium flexicaule* (Bent). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 48(4).
7. Alasino MC, Andrich OD, Sabbag NG, Costa SC, Dela Torre, MA, Sánchez HD. 2008. Panificación con harina de arvejas (*Pisum sativum*) previamente sometidas a inactivación enzimática. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 58(4): 397-402.
8. Amubode FO, Fetuga BL. 1983. Proximate composition and chemical assay of the methionine, lysine and tryptophan concentration of some forest tree seeds. *Food chemistry*. 12:67-72.
9. Anderson JW, Smith BM, Gustafson NJ. 1994. Health benefits and practical aspects of high-fiber diets. *American Journal of Clinical Nutrition*. 59: 1242-1247.
10. Anthony MS, Clarkson TB, Hughes CL, Morgan TM, Burke GL. 1996. Soybean isoflavones improve cardiovascular risk factors without affecting the reproductive system of peripubertal Rhesus monkeys. *Journal of Nutrition*. 126:43-50.
11. Anzaldúa A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Editorial Acribia: España pp 196-198.
12. AOAC INTERNATIONAL, 2005. *Official Methods of Analysis*. 18th Ed. Gaithersburg, MD. USA

13. Badui S. 1999. Química de los Alimentos. Estado de México, México: Longman de México Editores. P. 218.
14. Badui S. 2006. Química de los Alimentos. Estado de México, México: Pearson Educación. Pp.205-207.
15. Bautista JM, Castro AA, Camarena AE, Wrobel K, Wrobel K, Alanís GM, Gamiño SZ, Da Mota ZV. 2007. Desarrollo de pan integral con soya, chía, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 57(1):78-84.
16. Bhat R, Sridhar KR, Young C-C, Arun AB, Ganesh S. 2008. Composition and functional properties of raw and electron beam-irradiated *Mucuna pruriens* seeds. International Journal of Food Science and Technology. 43:1338-51.
17. Bhat R, Karim AA. 2009. Exploring the Nutritional Potential of Wild and Underutilized Legumes. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 8:305-331.
18. Bravo L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary source, metabolism, and nutritional significance. Nutritional Review. 56:317-333.
19. Cabrera C, Fuensanta L, Giménez R, Olalla M, López C. 2003. Mineral content in legumes and nuts: contribution to the Spanish dietary intake. The Science of the Total Environment. 308:1-14.
20. Campos-Mondragón MG, Calderón de la Barca AM, Durán-Prado A, Campos-Reyes LC, Oliart-Ros RM, Ortega-García J, Medina-Juárez LA and Angulo O. 2009. Nutritional composition of new peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars. Grasas y Aceites. 60(2):161-167.
21. Carroll KK, Kurowska, EM. 1995. Soy consumption and cholesterol reduction: Review of animal and human studies. *Journal of Nutrition*. 125:594-597.
22. Chang MJ, Collins JL, Bailey JW, Coffey DL. 1994. Cowpeas tannins related to cultivar, maturity, dehulling and heating. *Journal of Food Science*. 59(5):1034-1036.
23. Charley H. 2006. Tecnología de Alimentos. Editorial Limusa: DF, México. Pp 251-261, 267-270.
24. Chavan JK, Kadam SS. 1993. Nutritional enrichment of bakery products by supplementation with nonwheat flours. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 33(3): 189-226.
25. Chavan UD, Shahidi AK, McKenzie DB. 1999. Physico-chemical properties and nutrient composition of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.). *Food Chemistry*. 66:43-50.
26. Correll DS, Johnston MC. 1970. Manual of vascular plants of Texas. Renner, Texas: Texas research foundation. P. 769.

27. Dervas G, Doxastakis G, Hadjisarva-Zinoviadi, Triantafillakos N. 1999. Lupin flour addition to wheat flour doughs and effect on rheological properties. *Food Chemistry*. 66:67-73.
28. Deshpande SS, Cheryan M. 1985. Evaluation of vanillin assay for tannin analysis of dry beans. *Journal of Food Science*. 50:905-910.
29. Dhingra S, Jood S. 2002. Organoleptic and nutritional evaluation of wheat breads supplemented with soybean and barley flour. *Food Chemistry*. 77(4):479-488.
30. Doescher L, Hosney RC. 1985. Effect of sugar type and flour moisture on surface cracking of sugar-snap cookies. *Cereal Chemistry*. 62:263-266.
31. Doxastakis G, Zafiriadis I, Irakli M, Marlani H, Tananaki C. 2002. Lupin, soya and triticale addition to wheat flour doughs and their effect on rheological properties. *Food Chemistry*. 77:219-227.
32. Estrada LF. 1995. *Pruebas de germinación y desarrollo temprano del ébano (Pithecellobium flexicaule Benth.) Coult y su respuesta al establecimiento en suelo de tres municipios del estado de Nuevo León, México*. Tesis (Biólogo). Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. Pp. 26-35.
33. Estrada AE, Marroquín JS. 1992. Leguminosas en el centro-sur de Nuevo León. Reporte científico especial No. 10. Linares, Nuevo León, México: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. P. 71.
34. FAO/WHO Expert Consultation, 1989. *Protein quality evaluation*. USA: FAO. Pp. 4-8, 27, 32-39.
35. Felker P, Bandurski R. 1979. Uses and potential uses of leguminous trees for minimal energy input agriculture. *Economic botany*. 33(2):162.
36. Fernández-Michel S. 2006. Características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de panqués de chocolate adicionados con proteínas de suero porcino. *Revista Científica FCV-LUZ* 16:4:420-427.
37. Frühbeck G, Monreal, Santidrián S. 1997. Hormonal implications of the hypocholesterolemic effect of intake of field beans (*Vicia faba* L.) by young men with hypercholesterolemia. *American Journal of Clinical Nutrition*. 66:1452-60.
38. Geil PB, Anderson JW. 1994. Nutrition and Health Implications of dry beans: a review. *Journal of the American College of Nutrition*. 13:549-558.
39. Giral F, Sotelo A, Lucas B, De la Vega A. 1978. Chemical composition and toxic factors content in fifteen leguminous seeds. *Quart. Journal of Crude Drug Research*. 16(3):143-149.
40. Gómez-Flores RH, Gracia-Vázquez YA, Alanís-Guzmán MG, Tamez-Guerra R, García-Díaz CL, Monreal-Cuevas E, Rodríguez-Padilla C. 2009. *In Vitro* antimicrobial activity and polyalkaloids content of tender and mature *Ebenopsis ebano* seeds. *Medicinal Plants*. 1(1):11-19.

41. González A. 1985. *Colección y caracterización de germoplasma de algunas leguminosas forrajeras existentes en la región semiárida del noreste de México*. Tesis (Licenciado). Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. Pp. 15-25.
42. González, MR. 1996. *Evaluación de algunos parámetros nutricionales de la semilla de ébano –Pithecellobium flexicaule (Benth.)- relacionados con potenciales usos en la alimentación humana*. Tesis (Maestría en Ciencias). Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
43. González MR. 2003. Ebony (*Pithecellobium flexicaule* Benth) and proteins fractionation, solubilization, characterization and production of an isolate. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 53(1):84-89.
44. Gracia-Vázquez YA. 2009. *Caracterización química y biológica de extractos crudos de la semilla de Ebenopsis ebano (Ébano)*. Tesis (Doctorado en Ciencias). Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás, Nuevo León, México.
45. Granito M, Valero Y, Zambrano R. 2010. Desarrollo de productos horneados a base de leguminosas fermentadas y cereales destinados a la merienda escolar. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 60(1):85-92.
46. Grigelmo-Miguel N, Carreras-Boladeras E, Martín-Belloso O. 1999. Development of high-fruit-dietary-fibre muffins. *European Food Research Technology*. 210:123-128.
47. Hawrylewicz EJ, Zapata JJ, Blair WH. 1995. Soy and experimental cancer: animal studies. *Journal of Nutrition*. 125:698-708.
48. Hosney RC, Seib PA. 1978. Bread: From grain to the table. *Cereal Foods World*. 23(7): 362-367.
49. Hosney CR, Rogers ED. 1995. The formation and properties of wheat flour doughs. *CRC Reviews*. 29:73-83.
50. Hu F, Salmeron J, Manson J, Stampfer M, Colditz G, Rimm E, Willet W. 1999. Dietary fat and risk of type 2 diabetes in women. *American Journal of Epidemiology*. 149:S1.
51. Hu FB, Manson JE, Willet WC. 2001. Types of dietary fat and risk of coronary heart disease: a critical review. *Journal of American College of Nutrition*. 20:5-19.
52. Indar-Brown K, Noreberg C, Madar Z. 1992. Glycemic and insulinemic responses after ingestion of ethnic foods by NIDDM and healthy subjects. *American Journal of Clinical Nutrition*. 55:89-95.
53. INNSZ. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. 2001. *Ingestión diaria recomendada (IDR) de proteínas, vitaminas y nutrimentos inorgánicos para la población mexicana*. México:INNSZ.

54. Kennedy AR. 1995. The evidence for soybean products as cáncer preventive agents. *Journal of Nutrition*. 125:733-743.
55. Kingman SM. 1991. The influence of legume seeds on human plasma lipid concentrations. *Nutrition Research*. 4:97-123.
56. Kirk, et al. 1999. *Composición y Análisis de Alimentos de Pearson*. Compañía Editorial Continental: DF, México. Pp. 11-14, 25-27.
57. López CM, Bressani R. 2008. Uso del cowpea (*Vigna unguiculata*) em mezclas con frijol común (*Phaseolus vulgaris*) en el desarrollo de nuevos productos alimenticios. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 58(1):71-80.
58. Lovejoy JC. 1999. Dietary fatty acids and insulin resistance. *Current Atherosclerosis Reports*. 1:215-220.
59. Mahan LK, Escott-Stump S. 1998. *Nutrición y Dietoterapia de Krause*. Interamericana Editores: DF, México. Pp. 123-158.
60. Maldonado S, Sammán N. 2000. Composición química y contenido de minerales de leguminosas y cereales producidos en el noroeste argentino. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 50(2).
61. Martínez HJA, Zulet AMA. 2000. Leguminosas. En: *Alimentos, composición y propiedades*, Astiasaran AI, Martínez HJA (eds). McGraw-Hill Interamericana. 1ª. Edición. Madrid, España. Pp. 155-164.
62. Matthews RH. 1989. *Legumes. Chemistry, Technology and Human Nutrition*. Marcell Dekker Inc. New York, USA.
63. McWatters KH, Phillips RD, Walker SL, McCullough SE, Mensa-Wilmot Y, Saalia FK, Hung Y-C, Patterson SP. 2004. Baking performance and consumer acceptability of raw and extruded Cowpea flour breads. *Journal of Food Quality*. 27(5):337-351.
64. Mensa-Wilmot Y, Phillips RD, Lee J, Eitenmiller RR. 2003. Formulation and evaluation of cereal/legume-based weaning food supplements. *Plants for Human Nutrition*. 58:1-14.
65. Morales S. 2006. Leguminosas silvestres usadas como alimentos y bebidas, por la población rural en el matorral espinoso tamaulipeco. En: VIII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos, 1/2 de junio de 2006, San Nicolás de los Garza, Nuevo león, México. San Nicolás de los Garza: Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
66. Morten B. 2004. Ácidos Grasos Omega 3: Las grasas saludables. *Énfasis Alimentación*. Volumen1, febrero/marzo 2004. Pp.58-64.
67. Mustafa AI, Al-Wessali MS, Al-Basha OM, Al-Amir RH. 1986. Utilization of cowpea flour and protein isolate in bakery products. *Cereal Foods World*. 31(10): 756-759.



68. Nielsen SS. 2003. Food analysis. 3<sup>rd</sup> Edition. Kluwer Academic/Plenum: New York, USA. Pp. 259-260.
69. NOM, 2008. Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. DF, México.
70. Oberleas D. 1973. Phytates. In: Toxicants occurring naturally in foods. Committee on Food Protection, N. R. C. National Academy of sciences. Washington, D. C. USA. Pp. 363-371.
71. Olaiz-Fernández G, Rivera-Dommarco J, Shamah-Levy T, Rojas R, Villalpando-Hernández S, Hernández-Avila M, Sepúlveda-Amor J. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública, 2006.
72. Olaoye OA, Onilude AA, Idowu OA. 2006. Quality characteristics of bread produced from composite flours of wheat, plantain and soybeans. African Journal of Biotechnology. 5(11): 1102-1106.
73. Ory RL, Conkerton EJ. 1983. Supplementation of bakery items with high protein peanut flour. Journal of American Oil Chemists Society. 60:986-989.
74. Penfield MP, Campbell AM. 1990. Experimental food science. Academic Press California, USA. P. 521.
75. Persky V, Van Hor L. 1995. Epidemiology of soy and cancer: perspectives and directions. Journal of Nutrition. 125:709-712.
76. Phillips, RD. 1993. Starchy legumes in human nutrition, health and culture. Plant Foods for Human Nutrition. 44:195-211.
77. Potter NN, Hotchkiss JH. 1995. Food Science. Aspen Publishers Inc. New York, USA. Pp. 24-34.
78. Potter SM. 1995. Overview of proposed mechanisms for the hypocholesterolemic effect of soy. Journal of Nutrition. 125:606-611.
79. Rababah TM, Al-Mahasneh MA, Ereifej KI. 2006. Effect of Chickpea, Broad Bean or Isolated Soy Protein Additions on the Physicochemical and Sensory Properties of Biscuits. Journal of Food Science. 71(6):438-442.
80. Rao AV, Sung MK. 1995. Saponins as anticarcinogens. Journal of Nutrition. 125:717-724.
81. Reddy NR, Pierson MD. 1987. Isolation and partial characterization of phytic acid-rich particles from Great Northern beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Food Science. 52(1):109-112.

82. Reddy NR, Salunkhe DK. 1981. Interactions between phytate, protein, and minerals in whey fractions of black gram. *Journal of Food Science*. 46:564-567.
83. Rocas, AN. 1990. Árboles y arbustos útiles de México – Naturales e introducidos. México: Editorial Limusa. P. 146.
84. Ryan E, Galvin K, O'Connor TP, Maguire AR and O'Brien NM. 2007. Phytosterol, Squalene, Tocopherol Content and Fatty Acid Profile of Selected Seeds, Grains and Legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*. 62:85-91.
85. Santana E. 2007. Informe Especial: Ingredientes para panificados. *Énfasis Alimentación ONLINE*. [internet]. Disponible en el sitio de red: <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/7909-informe-especial-ingredientes-panificados-> [Revisado el 28 de noviembre de 2010].
86. Santana E. 2008. Brasil: el pan orgánico gana espacio. *Énfasis Alimentación ONLINE*. [internet]. Disponible en el sitio de red: <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/8287-brasil-el-pan-organico-gana-espacio-> [Revisado el 28 de noviembre de 2010].
87. Serna SRO. 2003. Manufactura y control de calidad de productos basados en cereales. ADT Editor: DF, México. Pp. 193, 205-207.
88. Singh B, Singh U. 1991. Peanut as a source of protein for human foods. *Plant Foods for Human Nutrition*
89. Singleton VL, Kratzer FH. 1973. Plant phenolics. In: Toxicants occurring naturally in foods. Committee on Food Protection, N. R. C. National Academy of sciences. Washington, D. C. USA. P. 327.
90. Sotelo A, Migliaro P, Toledo A, Contreras J. 1999. Chemical composition, digestibility and antinutritional factors content of two wild legumes: *Styphonolobium burseroides* and *Acacia bilimekii*. *Plant Foods for Human Nutrition*. 54:59-65.
91. Suárez MM, Kizlansky A, López LB. 2006. Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. *Nutrición Hospitalaria*. 21:47-51.
92. Torija IME, Diez MC. 1999. Legumbres. En: Tratado de Nutrición, Hernández RM, Sastre GA (eds). Díaz de Santos: Madrid, España. Pp. 425-428.
93. Turner BL. 1959. The legumes of Texas. Austin, Texas: University of Texas. P. 28.
94. USDA PLANTS, 2006. *Profile for Ebenopsis ebano (Texas ebony)*[Online]. [Consultada el 01 de Marzo de 2006]. Disponible en la página web: <http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=EBEB#>
95. USDA. United States Department of Agriculture – *National Nutrient Database for Standard Reference*. (2006) [Online]. [Accesada el 24 de Agosto de 2006].

Disponible en la página web: [http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list\\_nut\\_edit.pl](http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl)

96. Vires RA. 1986. Trees, shrubs, and woods vines of the southwest. Austin, texas: University Texas Press. P. 514.
97. *VT Forestry I.D. Cards – Texas Ebony* (2006) [Online]. [Consultada el 01 de Marzo de 2006]. Disponible en la página web: <http://www.cnr.vt.edu/dendro/dendrology/carddetail.cfm?Genus=Ebenopsis&Species=ebano>
98. Wardlaw GM, Hampl JS, DiSilvestro RA. 2005. *Perspectivas en Nutrición*. McGraw-Hill Interamericana: DF, México. 6ª. Edición. Pp. 469-495.
99. Yamamoto H, Worthington ST, Hou G, Ng PK. 1996. Rheological properties and baking qualities of selected soft wheats grown in the United States. *Cereal Chemistry*. 73:215-221.
100. Zulet MA, Martínez JA. 1995. Corrective role of the chickpea intake on a dietary-induced model of hypercholesterolemia. *Plant Foods for Human Nutrition*. 48: 269-277.

## RESUMEN BIOGRÁFICO

Jesús Manuel Zaragoza García

Candidato para el Grado de  
Maestro en Ciencias con Especialidad en Alimentos

- Tesis: DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE PANIFICACIÓN ADICIONADO CON HARINA DE SEMILLA DE ÉBANO, *Ebenopsis ebano* (Berland) Barneby & Grimes Y POSTERIOR EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y SENSORIALES
- Campo de Estudio: Ciencia de los Alimentos
- Datos Personales: Nacido en Monterrey, Nuevo León el 28 de Junio de 1981, hijo de Jesús Manuel Zaragoza Alvarado y Lidia García López.
- Educación: Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León, con el grado de Químico Farmacéutico Biólogo en 2002.
- Experiencia Profesional: Químico Analista de tiempo completo en el Laboratorio de Alimentos, Medicamentos y Toxicología de la Facultad de Ciencias Químicas en la Universidad Autónoma de Nuevo León desde 2003. Maestro de Asignatura de la Universidad Autónoma de Nuevo León desde 2008.



