

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería en Ciencias de Alimentos



Efecto de la fermentación en la biodisponibilidad de calcio, hierro y zinc en un *snack* horneado, elaborado a partir de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad negro e ICTA EPR-9.

Trabajo de investigación presentado por:

Javier Miguel Siguantay Ortiz

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en
Ciencias de Alimentos

Guatemala

2015

Efecto de la fermentación en la biodisponibilidad de calcio, hierro y zinc en un *snack* horneado, elaborado a partir de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad negro e ICTA EPR-9.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería en Ciencias de Alimentos



Efecto de la fermentación en la biodisponibilidad de calcio, hierro y zinc en un *snack* horneado, elaborado a partir de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad negro e ICTA EPR-9.

Trabajo de investigación presentado por:


Javier Miguel Siguantay Ortiz

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en
Ciencias de Alimentos

Guatemala

2015

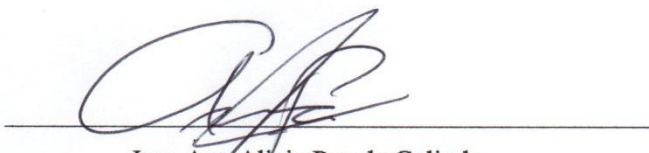
Vo. Bo. :

(f) 
Licda. Patricia Palacios de Palomo
Asesora

Tribunal Examinador:

(f) 
Licda. Patricia Palacios de Palomo
Asesora

(f) 
Licda. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(f) 
Ing. Ana Alicia Paz de Galindo

Fecha de aprobación: Guatemala, 17 de agosto de 2015

PREFACIO

El presente trabajo de investigación, surge de la inquietud de brindar en el mercado guatemalteco, un alimento fácil y rápido de consumir, que aporte una buena calidad proteica, además de ser fuente de minerales. Esto para atacar la malnutrición que existe en el país, además de ofrecer una alternativa a los productos fritos que son consumidos en altas cantidades. La idea es básicamente que el guatemalteco, un trabajador de la construcción, un niño, un estudiante, un ama de casa, tengan la posibilidad de adquirir un *snack* diferente al resto de los demás, que posea características sensoriales similares, pero que aporte una mejor calidad de proteínas y minerales para que, exista una opción de poder consumir una mezcla vegetal horneada que aporte una mejor nutrición que una fritura con calorías vacías.

Antes que nada, quiero agradecer a Dios por haberme permitido nacer en una familia con principios y valores. Quiero agradecer también a mis papás y mi hermana, por haber creído en mí desde el principio, y haberme dado la oportunidad de continuar y finalizar mis estudios superiores, por su apoyo, paciencia y consejos a lo largo de este camino.

También quiero agradecer a las licenciadas Patricia Palacios por su asesoría, comprensión y paciencia y Ana Silvia Colmenares, por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo y por su ayuda durante el trayecto del mismo.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos que siempre estuvieron en los momentos difíciles de la carrera, ya que juntos nos apoyamos. También a todos los colaboradores de la Universidad del Valle de Guatemala, ya que el ambiente que se vive dentro de esta casa de estudios es muy agradable y ellos también son parte de esto.

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| PREFACIO | iii |
| LISTA DE TABLAS | vi |
| RESUMEN | vii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 2 |
| A. Calidad de las proteínas..... | 2 |
| B. Cereales y leguminosas | 3 |
| a. Aminoácidos esenciales en el maíz..... | 4 |
| b. Formas para mejorar la calidad proteica del maíz. | 4 |
| c. Disponibilidad de maíz en Guatemala. | 6 |
| a. Aminoácidos esenciales del frijol. | 7 |
| b. Disponibilidad de frijol en Guatemala..... | 8 |
| c. Consumo de frijol en Guatemala. | 8 |
| d. El frijol como alimento funcional..... | 9 |
| e. Factores antifisiológicos en las leguminosas de grano..... | 9 |
| C. Mezclas vegetales..... | 11 |
| D. Fermentación..... | 11 |
| E. Minerales en los alimentos | 12 |
| F. Biodisponibilidad en alimentos | 13 |
| III. ANTECEDENTES | 15 |
| IV. JUSTIFICACIÓN | 18 |
| V. OBJETIVOS | 21 |
| A. General | 21 |

| | | |
|-------|-------------------------------|----|
| B. | Específicos | 21 |
| VI. | METODOLOGÍA | 22 |
| A. | Localización | 22 |
| B. | Materiales y equipo | 22 |
| C. | Diseño experimental..... | 22 |
| a. | Cocción de maíz. | 22 |
| b. | Cocción de frijol..... | 23 |
| c. | Elaboración de masa..... | 23 |
| d. | Fermentación..... | 23 |
| VII. | RESULTADOS | 25 |
| VIII. | DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 29 |
| IX. | CONCLUSIONES | 34 |
| X. | RECOMENDACIONES..... | 35 |
| XI. | BIBLIOGRAFÍA | 36 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Contenido de aminoácidos esenciales y de proteína de varios cereales, expresados en g/16g de nitrógeno. | 4 |
| Tabla 2: Composición del frijol común..... | 7 |
| Tabla 3: Contenido de aminoácidos en Cowpea y Frijol Negro Común expresado en g/16g N. | 8 |
| Tabla 4: Mezclas vegetales óptimas a base de frijol..... | 11 |
| Tabla 5: Nombres de las distintas mezclas vegetales elaboradas | 25 |
| Tabla 6: Composición de las distintas mezclas alimenticias elaboradas..... | 25 |
| Tabla 7: Concentración total de hierro, zinc y calcio en los <i>snacks</i> horneados en las distintas mezclas alimenticias elaboradas..... | 26 |
| Tabla 8: Porcentaje de dializabilidad y biodisponibilidad de calcio, hierro y zinc en el <i>snack</i> horneado utilizando las distintas mezclas elaboradas. | 28 |
| Tabla 9: Valores de p entre las distintas mezclas elaboradas al realizar análisis ANOVA en el porcentaje de calcio dializado. | 28 |
| Tabla 10: Valores de p entre las distintas mezclas elaboradas al realizar análisis ANOVA en el porcentaje de hierro dializado. | 28 |
| Tabla 11: Valores de p entre las distintas mezclas elaboradas al realizar análisis ANOVA en el porcentaje de zinc dializado. | 28 |
| Tabla 12: Valores de p entre las distintas mezclas elaboradas al realizar análisis ANOVA en el porcentaje de biodisponibilidad del calcio..... | 28 |
| Tabla 13: Valores de p para las distintas mezclas elaboradas al realizar análisis ANOVA en el porcentaje de biodisponibilidad del hierro. | 28 |
| Tabla 14: Valores de p para las distintas mezclas elaboradas al realizar análisis ANOVA en el porcentaje de biodisponibilidad del zinc. | 28 |

RESUMEN

En Guatemala existen deficiencias nutricionales, tanto de proteínas, como de algunos minerales, entre los cuales se encuentran calcio, hierro y zinc. Además de esto, en el país se consume una gran cantidad de comida ya preparada y lista para comer, dentro de las cuales se encuentran los *snacks* fritos. Para brindar una opción de un alimento ya preparado y que además de esto sea una fuente de proteína de buena calidad y de minerales, se elaboró un *snack* horneado utilizando maíz y frijol, con una relación 70% maíz y 30% frijol, ya que según Bressani, esta relación es la ideal para que la mezcla de ambos alimentos aporte la mejor calidad proteica. Además de esto, se realizó un proceso de fermentación durante la elaboración del mismo utilizando lactobacilos, para así poder aumentar la biodisponibilidad de calcio, hierro y zinc en la matriz alimentaria. Se elaboraron distintas mezclas vegetales utilizando maíz común, frijol común y frijol biofortificado. Las mezclas son las siguientes: Mezcla 1: Maíz nixtamalizado + frijol común; mezcla 2: Maíz nixtamalizado + frijol común + fermentación; mezcla 3: Maíz nixtamalizado + frijol mejorado; mezcla 4: Maíz nixtamalizado + frijol mejorado + fermentación.

La concentración de calcio en los *snacks* elaborados a partir de las mezclas 1, 2, 3 y 4 es 627.2, 627.8, 630.9 y 631.1 ppm respectivamente. Para el hierro dichas concentraciones fueron de 26.50, 27.04, 29.97 y 29.86 ppm respectivamente y para el zinc de 15.20, 15.85, 20.21 y 21.15 ppm respectivamente. Debido que la concentración total no es la cantidad de minerales que el organismo puede absorber, se determinó la concentración biodisponible de los mismos para poder encontrar una relación entre el uso de la tecnología de fermentación y el aumento de la biodisponibilidad de los minerales. Dicha biodisponibilidad se midió en los *snacks* elaborados a partir de las mezclas 1, 2, 3 y 4 y se obtuvo una concentración biodisponible de calcio de 516.83, 533.20, 534.14 y 5573.53 ppm respectivamente, para el hierro 21.32, 24.87, 26.78 y 29.70 ppm respectivamente y para el zinc 11.94, 14.05, 16.32 y 18.35 ppm respectivamente.

Finalmente, se llegó a la conclusión que, el proceso de fermentación, utilizando un 3% de lactobacilos en las mezclas alimenticias elaboradas, aumenta significativamente la biodisponibilidad de los minerales calcio, hierro y zinc en el *snack* elaborado.

I. INTRODUCCIÓN

Guatemala se encuentra en una etapa de transición nutricional, en la cual predomina la malnutrición. Existe un problema de acceso y hábitos de consumo, y hay pocas opciones de alimentos saludables y de bajo costo en el mercado. El consumo de proteínas es deficiente, según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la ingesta de proteínas de origen pecuario per cápita es de 13.5 gramos por día, el más bajo de la región centroamericana. El acceso económico a las proteínas de origen animal es limitado y no hay consumo suficiente de proteínas de origen vegetal; además de esto, también existe el problema de una deficiencia en minerales tales como calcio, hierro y zinc en la población guatemalteca (Naciones Unidas, 2003).

Los patrones de alimentación están cambiando, y cada vez son más personas las que comen productos procesados fuera de casa, principalmente en las áreas urbanas. En la última encuesta mundial de salud escolar en el año 2009, el 29.4% de los escolares reportó que consumen por lo menos una vez al día productos procesados como frituras y el 19.7% reportó consumirlas de 2 a 3 veces al día. El consumo de frituras o “*snacks*” fritos en Guatemala aumentó 17% del año 2002 al año 2007, siendo los más comunes las frituras de papa, maíz y maní (Ministerio de Salud Pública 2009). Esta información indica que las frituras, consideradas tradicionalmente como alimentos con calorías vacías, están siendo una fuente importante de energía en la población guatemalteca. Lo anterior presenta una oportunidad a la industria de alimentos para ofrecer opciones mejoradas que aporten nutrientes deficitarios en la dieta de la población objetivo.

En el siguiente trabajo se diseñó una alternativa a lo que existe actualmente en el mercado nacional, en la categoría de aperitivos de consumo popular, tomando como base un *snack* horneado de maíz y frijol. Se elaboró una mezcla idónea entre el maíz y frijol, siendo esta de 70% de maíz y 30% de frijol con el propósito de mejorar la calidad de la proteína y de esta manera, incidir en el aprovechamiento biológico del producto. Además de esto se realizó el proceso de fermentación durante la elaboración del producto, con la finalidad de aumentar la biodisponibilidad de los minerales calcio, zinc y hierro. Se optó por realizar el alimento horneado y no frito, ya que de esta manera se disminuye considerablemente el contenido de grasa y de ácidos grasos saturados.

II. MARCO TEÓRICO

A. Calidad de las proteínas

Cada especie vegetal o animal tiene diferentes tipos de proteínas. Para poder asimilar las proteínas de la dieta, estas deben ser digeridas y convertidas en diferentes aminoácidos. Luego estos llegan a los tejidos donde se combinan de nuevo para formar las proteínas específicas de cada especie. Para poder llevar a cabo la síntesis de las proteínas que no son propias, las células necesitan que estén presentes en cantidad suficiente, todos los aminoácidos que compondrán la proteína. La calidad de una proteína representa el grado de aproximación química (contenido y proporción de aminoácidos) de la proteína de la dieta respecto a la del cuerpo (Giraud, 2006). Dentro de todos los aminoácidos que puede contener una proteína, los más importantes, son los esenciales. Los aminoácidos esenciales, son los que deben ser provistos por la dieta diaria, porque el organismo no los sintetiza, o la velocidad de su síntesis es muy lenta, si se le compara con la velocidad con que éste los necesita. Los aminoácidos esenciales son: isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano, valina e histidina. El organismo humano no los puede sintetizar y tiene que recibirlos de su alimentación diaria. El resto de aminoácidos, que también juegan un papel importante en el metabolismo de las proteínas, son sintetizados por el organismo humano y, por tanto, no son esenciales. La función primordial de los aminoácidos que forman las proteínas, es servir de material para la construcción (crecimiento) y el reemplazo o mantenimiento continuo de las proteínas celulares, durante toda la vida (Giraud, 2006). Algunos alimentos aportan proteínas que no son de alta calidad porque tienen un aminoácido esencial en baja proporción. A partir de este hecho, se define el concepto de aminoácido limitante, como el que presenta la menor de las proporciones entre el contenido de cada aminoácido esencial de la proteína que se evalúa con respecto a la proteína de referencia. Para efectos de investigación, se toma como referencia la proteína del huevo, debido a su gran semejanza con las proteínas endógenas (Giraud, 2006). La calidad proteica de las proteínas depende del contenido, la disponibilidad y el balance de sus aminoácidos esenciales. Este concepto está respaldado por numerosas investigaciones. Las proteínas que no son de alta calidad, pueden ser mejoradas por medio de la corrección de sus deficiencias cualitativas y cuantitativas. Estos principios han permitido el uso de este concepto como una posible solución para mejorar la dieta de grupos de población que todavía no disponen de alimentos, en cantidad y calidad suficientes para una nutrición proteica adecuada. Con este enfoque se han hecho varios estudios para mejorar el valor nutritivo de la proteína del maíz, alimento principal de la dieta guatemalteca (Bressani, 1972).

B. Cereales y leguminosas

Los cereales son el principal cultivo en el mundo. Dominan la producción agrícola mundial debido a que directa o indirectamente proveen una gran proporción del sustento humano. Los granos de cereal contienen entre 60-70% almidón y 7-14% de proteína. Son la principal fuente de carbohidratos para los humanos y animales domésticos y proveen una proporción importante de proteínas. Son los alimentos básicos para muchas personas alrededor del mundo, particularmente en los países en desarrollo, debido a que son una fuente relativamente barata de calorías y proteínas comparadas con la carne. Los principales granos incluyen trigo, arroz, maíz, cebada, sorgo, avena, centeno y mijos. La mayoría de la población mundial subsiste con trigo, arroz y maíz. Estos cereales representan el 80% de la producción total de granos de cereales (Hui, 2006).

En términos de producción agrícola, los cereales son la fuente más importante de alimentación humana y animal, pero la familia de legumbres, las leguminosas, abarcan un grupo sumamente diverso de hierbas, vides, arbustos y árboles. Solamente, la subfamilia Papilionoidea tiene 600 géneros y 13,000 especies de plantas que tienen frutos con un patrón específico de vainas alargadas. Más de 80 especies de legumbres se consumen alrededor del mundo y representan la segunda fuente más importante de alimentos. Alrededor de 20 especies de legumbres se cultivan en grandes hectáreas. Estos cultivos de legumbres son principalmente herbáceos que pueden consumirse directamente como semilla seca y madura, como semilla verde inmadura o como vaina entera (Hui, 2006).

1. Maíz. El maíz, o elote (*Zea mays*) es una planta gramínea anual originaria de América, introducida en Europa en el siglo XVI. Actualmente, es el cereal con mayor volumen de producción en el mundo, superando al trigo y al arroz (Owusu, 2002). En la mayor parte de los países de América, el maíz constituye la base histórica de la alimentación, principalmente en México y Centroamérica. En estos países, el maíz cuenta con una gran importancia nutricional debido a sus niveles de ingesta, composición química, valor nutritivo y variedad de formas en las que se consume. En algunos lugares con mayores índices de ingesta de maíz, éste representa la fuente del 80% de las calorías y el 70% de las proteínas en la dieta de la población adulta (Rojas, 1988). Sin embargo, de acuerdo a estudios realizados por Bressani (Bressani, 1972), una dieta que se base principalmente en el maíz, es una dieta no balanceada, ya que el valor nutricional de éste es sólo relativo, o más bien bajo, en comparación con los niveles de una dieta ideal para el normal

desarrollo biológico del hombre. Como todos los cereales, la concentración de proteínas en el maíz es relativamente baja y esto reduce el valor biológico de las mismas. Las proteínas del maíz son deficientes en algunos aminoácidos esenciales, en niacina y en otros elementos nutricionales indispensables. Estas deficiencias son más pronunciadas en los casos de una dieta no balanceada y en circunstancias extremas, pueden provocar enfermedades cutáneas y de las mucosas, o favorecer el desarrollo de las mismas, contribuyendo a crear cuadros de malnutrición o desnutrición, agravados por otros factores endógenos o exógenos diversos. Con el objetivo de corregir estas deficiencias, la dieta debe complementarse con otros nutrientes o fuentes proteicas diversas, de origen animal (carne, huevos, leche) o de origen vegetal como legumbres, frutas, raíces, especias, y tubérculos (Rojas, 1988).

a. Aminoácidos esenciales en el maíz. Los cereales poseen un bajo contenido de proteínas y la lisina es el aminoácido limitante. Sin embargo, en el caso del maíz, la deficiencia de triptófano es más acentuada; por eso se debe suplementar la harina de maíz con estos dos aminoácidos (Bressani, 1972). En la Tabla 2 se muestra la cantidad de proteínas, así como el contenido de aminoácidos esenciales del maíz y de otros cereales en comparación con los de la leche.

Tabla 1: Contenido de aminoácidos esenciales y de proteína de varios cereales, expresados en g/16g de nitrógeno.

| Aminoácido | Maíz | Arroz | Harina de Trigo |
|-----------------------|-------|-------|-----------------|
| Lisina | 2.88 | 4.27 | 2.08 |
| Triptófano | 0.61 | 1.35 | 1.12 |
| Isoleucina | 4.62 | 4.89 | 4.19 |
| Leucina | 12.96 | 7.84 | 7.02 |
| Aminoácidos Azufrados | 3.15 | 3.45 | 3.02 |
| Fenilalanina | 4.54 | 5.55 | 5.01 |
| Treonina | 3.98 | 4.10 | 2.62 |
| Valina | 5.10 | 6.24 | 3.94 |
| % proteína | 9.40 | 7.20 | 11.80 |

(Bressani, 1972)

b. Formas para mejorar la calidad proteica del maíz. Como ha quedado establecido, la proteína del maíz normal es de baja calidad debido a que su proteína es deficiente en dos aminoácidos básicos: lisina y triptófano, y en aminoácidos menores, como la isoleucina. Existen varios enfoques para mejorar la calidad proteínica de las dietas basadas en el maíz, tratando de equilibrar el balance de aminoácidos. A continuación se describen brevemente los enfoques que

se han estudiado en el INCAP para encontrar la solución más fácil y práctica a fin de obtener el mayor beneficio nutricional para quienes necesitan dietas que contengan más proteína de alta calidad (Bressani, 1972).

- Suplementación con aminoácidos: La calidad proteínica del maíz se mejora si se agrega lisina y triptófano, y hay un mejoramiento cuando también se añade isoleucina en presencia de lisina y triptófano. La adición de los dos aminoácidos también aumenta la retención del nitrógeno a todos los niveles de ingesta de proteína (Bressani, 1972).

- Por manipulación genética: Se ha estudiado que se logra una mayor calidad proteínica en el maíz mediante la incorporación de varios genes mutantes; entre ellos, el opaco-2 ha demostrado ser el más efectivo. La calidad proteínica del maíz opaco-2, desarrollado en la Universidad Purdue en 1964, fue probada en niños y se demostró que las proteínas del maíz opaco tienen un valor proteínico equivalente a 90% del de las proteínas de la leche, utilizando el método de análisis de balance de nitrógeno. Inicialmente este grano poseía características físicas y agronómicas deficientes; sin embargo, con el liderazgo del Centro Internacional del mejoramiento del maíz y trigo (CIMMYT) en México se logró en 1985 el desarrollo de maíz QPM (QualityProteinMaize). En Guatemala el personal del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), en el área de maíz, logró producir variedades de QPM de alto rendimiento y de alta calidad proteínica. Se les conoció como Nutricia, Proticta y recientemente el Maya ICTA (Bressani, 1972).

- Complementación con proteína: Cuando el maíz se consume en cantidades tan altas como ocurre en varios países de Latinoamérica y África, suministra niveles relativamente altos de proteína total, junto con altos niveles de materia seca sin proteína, principalmente carbohidratos. Para mejorar este aspecto y el que se refiere a la calidad proteica, se han desarrollado mezclas alimenticias de maíz con otros ingredientes, las cuales suministran mayor calidad y cantidad de proteína, conocidas como mezclas de proteína vegetal (Bressani, 1972).

Ya desde la época de la Mesoamérica precolombina, los habitantes, particularmente los mayas, conseguían complementar sus dietas mediante el consumo de frijol, calabazas, carne silvestre y algún otro vegetal. También utilizaban procedimientos para superar las deficiencias de proteínas, calcio y niacina, como la cocción alcalina, es decir, el uso de cal en el cocimiento del maíz y en la preparación de las tortillas, la lactancia prolongada de los niños casi hasta los tres años, la

utilización de técnicas agrícolas favorables como la roza y el barbecho, la selección de semillas y la diversificación de la dieta (Rojas, 1988).

c. Disponibilidad de maíz en Guatemala. En Guatemala, el consumo de maíz se mantiene en más del 75% de los hogares; se estima que cada persona consume una cantidad mínima equivalente a ocho tortillas medianas *per cápita*, aunque obviamente hay sitios donde el consumo es mayor y otros donde es menor. También se debe considerar el consumo de otros productos derivados de maíz. En unas regiones se adquieren principalmente las tortillas ya elaboradas como ocurre en las regiones Metropolitana y Nororiente (81% y 45% de hogares respectivamente). En otras regiones se adquirió tanto tortillas ya preparadas como maíz en grano, mientras en la región Noroccidente es mayor el número de hogares que usaron maíz en grano. Un alto porcentaje de hogares en todas las regiones adquieren las tortillas ya preparadas y el uso de harina de maíz nixtamalizada en los hogares todavía es muy bajo. Es probable que una buena proporción de las tortillas adquiridas ya elaboradas sean preparadas con harina de maíz (ONU, 2003).

2. Frijol. Dentro del grupo de las leguminosas comestibles, el frijol común es una de las más importantes debido a su amplia distribución en los cinco continentes y por ser complemento nutricional indispensable en la dieta alimenticia, principalmente en Centro y Suramérica. El cultivo del frijol es considerado uno de los más antiguos; según hallazgos arqueológicos en México, país que se cree es su posible centro de origen. En Suramérica indican que era conocido por lo menos 5,000 años antes de la era cristiana. La planta de frijol es anual, herbácea, intensamente cultivada desde el trópico hasta las zonas templadas; aunque es una especie termófila, es decir, que no soporta heladas, se cultiva esencialmente para obtener las semillas, las cuales tienen un alto contenido de proteínas, alrededor de un 22%. Las semillas pueden ser consumidas tanto inmaduras como secas. También puede consumirse la vaina entera inmadura (Debouck *et. al.* 1984). El frijol es una rica fuente de proteínas y carbohidratos, además de ser una buena fuente de vitamina del complejo B como la Niacina, la Riboflavina, el Ácido Fólico y la Tiamina. También es una rica fuente de minerales como el hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio y calcio y tiene alto contenido de proteína y fibra. Asimismo, es una excelente fuente de ácidos grasos polinsaturados (Walker y Hymowitz, 1972).

Tabla 2: Composición del frijol común

| Compuesto | Porcentaje |
|------------------|-------------------|
| Fibra | 6.6 % |
| Humedad | 7.9 % |
| Grasas | 1.8 % |
| Proteínas | 26.1 % |
| Carbohidratos | 61.4 % |

(Bressani, 2009)

a. Aminoácidos esenciales del frijol. El frijol negro es una de las principales fuentes de proteínas en la dieta del guatemalteco. La comparación del contenido en aminoácidos de la proteína del frijol con la proteína de referencia de FAO/OMS, indica que el frijol negro es una buena fuente de aminoácidos aromáticos, lisina, leucina e isoleucina. Sin embargo, es deficiente en aminoácidos azufrados" (metionina y cisteína), valina, triptófano y treonina, en comparación con el patrón de referencia FAO/OMS. Los frijoles se consumen habitualmente con tortillas de maíz, lo que supone una complementación de ambas proteínas, originando una proteína de alto valor nutricional. Sin embargo, su utilización biológica se ve afectada por la presencia de factores inhibidores de su absorción, tales como taninos y ácido fítico. Por otro lado, la mayor parte de estos inhibidores son termolábiles, por lo que su capacidad inhibitoria se reduce significativamente con los procesos térmicos culinarios. El tratamiento térmico tiene un doble efecto sobre las leguminosas. Disminuye y elimina la actividad de algunos factores antifisiológicos, y aumenta la disponibilidad de aminoácidos azufrados presentes en altas concentraciones en los inhibidores de tripsina (Bressani, 2008).

Tabla 3: Contenido de aminoácidos en Cowpea y Frijol Negro Común expresado en g/16g N.

| Aminoácido | Cowpea* | Frijol común |
|-------------------|----------------|---------------------|
| Arginina | 8 | 6.4 |
| Histidina | 3.4 | 3.52 |
| Isoleucina | 5.1 | 5.28 |
| Leucina | 7.7 | 8.16 |
| Lisina | 7.8 | 8.8 |
| Metionina | 1.23 | 2.4 |
| Cistina | 0.51 | 1.28 |
| Fenilalanina | 4.21 | 4.16 |
| Tirosina | 1.98 | 3.36 |
| Treonina | 4.06 | 4.48 |
| Triptófano | 1.09 | 1.12 |
| Valina | 5.02 | 5.6 |

*Promedio de 8 variedades de *Cowpea*.

(Bressani, 2009)

b. Disponibilidad de frijol en Guatemala. Según la última Hoja de Balance de Alimentos, calculada por el INE en el 2008, en Guatemala, hay una disponibilidad de frijol de 17.8g/día/persona equivalentes a 61 calorías, 4 gramos de proteína y 0.3 gramos de grasa (INE, 2008).

c. Consumo de frijol en Guatemala. El frijol ha sido uno de los alimentos básicos tradicionales de la dieta guatemalteca. De acuerdo a la ENIGFAM, a excepción de la región Metropolitana, donde solamente en el 52% de los hogares se registró consumo de frijol en grano durante la semana de la encuesta, en el resto de las regiones fue registrado en más de 75% de los hogares. El mayor consumo se observa en la región Norte y en la región de Petén, en donde se consume en más de 80% de los hogares. Estos datos muestran la importancia que mantiene el frijol, principalmente negro, en la dieta guatemalteca, como complementario al maíz. La cantidad mínima estimada para frijol equivale a 45 gramos por persona por día. Una alternativa para el consumo de frijol en grano la constituye el frijol molido enlatado o harina de frijol; sin embargo el uso de estos productos es todavía bastante bajo, apenas 7% a nivel nacional y cerca de 13% en la región Metropolitana. El uso de otras leguminosas es insignificante en el país (ONU, 2003).

d. El frijol como alimento funcional. Los Alimentos Funcionales, son aquellos que ejercen una acción beneficiosa sobre algunos procesos fisiológicos y/o reducen el riesgo de padecer una enfermedad. Los Alimentos Funcionales poseen componentes que afectan funciones del organismo de manera específica y positiva, promoviendo un efecto fisiológico más allá de su valor nutritivo tradicional. Las leguminosas en grano se consideran un alimento funcional. Debido a la relación entre una dieta baja en fibra dietética y el desarrollo de enfermedades tales como hipertensión, aterosclerosis y diabetes, se ha recomendado aumentar el consumo de hidratos de carbono complejos y fibra dietética (Nestares, 2003).

En años recientes, el consumo de leguminosas de grano en general y el de frijoles en particular, ha ganado atención, porque se ha asociado a la reducción del riesgo de desarrollo de dichas enfermedades. Además, los frijoles presentan menor índice glicémico que otros alimentos, por lo que se asocian con la prevención de enfermedades relacionadas con la resistencia a la insulina y el aumento de la saciedad (Foster, 1995).

El frijol tiene otras propiedades funcionales además de las mencionadas anteriormente. Estudios epidemiológicos muestran una menor incidencia de cáncer de colon en poblaciones cuya dieta incluye un mayor consumo de leguminosas. Esto se debe a que contienen los cuatro tipos de fibra dietética reconocidas: Fibra insoluble, Fibra soluble, Almidón Resistente y Oligosacáridos y a su alta cantidad de Fitoquímicos, compuestos ampliamente estudiados por sus propiedades antioxidantes y anticancerígenas (Bressani, 1982).

e. Factores antifisiológicos en las leguminosas de grano. Las leguminosas en grano tienen factores antifisiológicos que deben tomarse en cuenta al utilizarlas como fuente de alimentación o ingrediente en el diseño de algún producto. Los factores antifisiológicos que se encuentran en las leguminosas en grano, son los siguientes: Inhibidores de tripsina, Hemaglutininas, Inhibidores de la amilasa, Glucósidos cianogénicos, Factores bociogénicos, Factores de flatulencia, Latirismo, Favismo, L-Dopa (Bressani, 1982).

Sin embargo, el procesamiento térmico tiene efectos positivos sobre el valor nutritivo de las leguminosas en grano. Algunos de estos efectos son:

- Inactivación de los inhibidores enzimáticos y lectinas;
- Reduce/inactiva otros antinutrientes (taninos);
- Aumenta la digestibilidad proteica y de carbohidratos;

- Aumenta la calidad de la proteína;
- En exceso disminuye la biodisponibilidad de aminoácidos esenciales (lisina).

Estudios realizados por Bressani en 1982, demuestran que la cocción tiene un efecto positivo en la digestibilidad de la proteína y ésta puede relacionarse directamente con la cantidad de lisina disponible.

3. Consumo de maíz y frijol en Guatemala. Los hábitos alimentarios están vinculados fuertemente con la tradición. En Guatemala, un gran sector de la población no alcanza a cubrir sus necesidades nutricionales básicas, ni de proteínas. El consumo de alimentos está determinado por el poder adquisitivo de las familias, el cual está condicionado por el ingreso monetario de las mismas. En el sector rural, la dieta depende del autoabastecimiento de un número limitado de alimentos; la dieta básica del guatemalteco está compuesta por la asociación de cereal-leguminosa, en donde el maíz y el frijol, son de relevante importancia (Fuentes, 2002).

En el 2008, se realizó un análisis de la condición de vida de la población de los guatemaltecos; este estudio indicó que los guatemaltecos dependen principalmente del maíz para obtener proporciones considerables de energía alimentaria. A nivel nacional, el maíz es el mayor contribuyente de energía con un 37%, cifra que alcanzó un 47% entre las familias del área rural y entre las familias indígenas. Los frijoles y otras leguminosas, aportan entre un 4 y 5% de las calorías (FAO, 2010).

El maíz cubre desde las calorías en las dietas de las familias extremadamente pobres hasta las familias con poder adquisitivo elevado. Es la principal fuente de proteínas, especialmente para las familias indígenas y de áreas rurales, las cuales obtuvieron más del 40% de sus proteínas por medio de éste. (FAO, 2010)

Los frijoles también juegan un papel importante en la dieta de la población guatemalteca, no solo debido a su contenido energético, sino que también a la cantidad de proteína que suministran. Su consumo es especialmente valioso, ya que se utiliza como complemento de los cereales en las regiones donde la población tiene limitado el acceso a la proteína de productos animales, y que además del aporte energético, los frijoles constituyen una de las principales fuentes de proteína en la dieta (FAO, 2010).

C. Mezclas vegetales

La proteína de alimentos de origen vegetal, a pesar de que la contienen en buena proporción, no es de tan buena calidad, por su contenido de aminoácidos esenciales, el cual es bajo o carente de alguno de ellos. Cuando dos alimentos de origen vegetal se consumen juntos, por ejemplo, el arroz y el frijol, la proteína de esta mezcla vegetal se mejora sustancialmente, ya que sus contenidos individuales de aminoácidos esenciales se complementan y forman una proteína de alta calidad (Delolme, 1999). Generalmente, los cereales y las leguminosas por sí solos no llenan las necesidades de aminoácidos esenciales que el organismo necesita, para formar una proteína de buena calidad, pero al consumirse juntos dan como resultado una mezcla vegetal con la proteína de buena calidad necesaria y en ella se utiliza al máximo el valor nutritivo de ambos (Blandon 1986).

Tabla 4: Mezclas vegetales óptimas a base de frijol

| Alimento | Cantidad en grano |
|------------------|-------------------|
| Frijol / Arroz | 30 / 70 |
| Frijol / Maíz | 30 / 70 |
| Frijol / Trigo | 10 / 90 |
| Frijol / Camote | 20 / 80 |
| Frijol / Plátano | 30 / 70 |
| Frijol / Papa | 10 / 90 |

(Blandon, 1986)

D. Fermentación

El proceso de fermentación es un proceso en el cual microorganismos producen metabolitos o biomasa utilizando sustancias orgánicas. El material que se fermenta funciona como alimento para los microorganismos y los componentes producidos por los microorganismos llegan a formar parte de dicho material, con lo cual se puede decir que éste ya está fermentado. Este proceso puede ser utilizado en presencia o en ausencia de oxígeno, dependiendo del tipo de microorganismo que se esté utilizando para la fermentación (Hernández, 2002).

1. Lactobacilos y fitatos. Se ha determinado en algunas fermentaciones de masas de cereales que, luego de 24 horas de fermentación por medio de lactobacilos, el contenido de fitatos en las masas ha reducido considerablemente. Se ha comparado el efecto de esta fermentación con el efecto de la enzima fitasa, y se ha observado que la disminución de fitatos es muy similar. De

esta manera, puede existir un aumento en la biodisponibilidad mineral mediante esta degradación (Reale *et al*, 2007).

E. Minerales en los alimentos

Los minerales son elementos químicos indispensables para que el organismo funcione correctamente y se mantenga sano. Se conocen alrededor de 20 minerales imprescindibles para conservar todas las funciones de los tejidos. Los minerales cumplen funciones vitales dentro del cuerpo, como: ayudan a la formación de los huesos, forman parte de la sangre, regulan el funcionamiento hormonal, realizan transporte entre el medio y las células manteniendo un equilibrio electrolítico, entre otras. Tanto los minerales como las vitaminas son nutrientes esenciales que sólo se pueden obtener a través de los alimentos (Pérez y Zamora, 2002).

1. Estabilidad de los minerales en los alimentos. Los minerales son estables en los alimentos y por tanto su estructura no se ve afectada en el cocinado. Sin embargo, según sea el tipo de procesado del alimento pueden darse, en ocasiones, ganancias o pérdidas de minerales:

- Ganancias de minerales: por tratamientos hechos a las plantas durante el cosechado, por cocinar o procesar alimentos con agua dura, por utilizar ciertos utensilios metálicos en el cocinado, por añadir ciertos minerales en el procesamiento o por fortificación.
- Pérdidas de minerales: por el cocinado (una verdura hervida tiene más pérdidas que una al vapor) o algunas técnicas de procesamiento (Pérez y Zamora, 2002).

A pesar de lo anterior, el contenido mineral de las verduras en latas o congeladas, no difiere mucho de las frescas. Ciertamente es que, en todos los casos hay que tener claro que un mismo alimento según sea su procedencia geográfica puede tener una cierta variabilidad en su contenido mineral, habida cuenta de que las condiciones del suelo, del clima etc. son distintas en cada caso (Pérez y Zamora, 2002).

Durante su almacenamiento, el contenido mineral de los alimentos no suele verse afectado, excepto por el hierro y cobre, que por interacciones con el material metálico de la lata, el primero puede aumentar y el segundo disminuir. El sodio, potasio y calcio no suelen variar (Pérez y Zamora, 2002).

2. Asimilación de los minerales. La asimilación de los minerales en el organismo varía dependiendo de la forma química en que está presente el mineral en el alimento; así, el hierro puede encontrarse en forma “hem” o “no hem”, siendo más asimilable la forma “hem”. Algunos alimentos pueden poseer sustancias capaces de obstaculizar la asimilación de los minerales, como por ejemplo los oxalatos que se encuentran en espinacas, chocolate, remolacha etc. y que disminuyen la absorción de hierro (Pérez y Zamora, 2002).

El hierro y el zinc, son dos minerales que pueden llegar a ser deficitarios en niños y adolescentes. Así mismo, en mujeres embarazadas o en edad fértil, las demandas de hierro son más elevadas (Pérez y Zamora, 2002).

F. Biodisponibilidad en alimentos

Al consumir alimentos, los nutrientes que estos contienen se liberan de la matriz y pasan al torrente sanguíneo donde son transportados a sus distintos destinos dentro del organismo. Sin embargo, no todos los nutrientes son liberados o son absorbidos de la misma manera, es decir que no siempre se puede absorber todos los nutrientes que un alimento posee. La biodisponibilidad es básicamente la proporción de un nutriente que nuestro organismo absorbe de la cantidad total que posee un alimento ingerido (Heany, 2001).

1. Efectos de la matriz alimentaria en la biodisponibilidad. Para que un nutriente esté biodisponible, es necesaria su liberación de la matriz alimentaria y de ser necesario, una conversión química para que éste pueda ser absorbido. Los nutrientes se hacen biodisponibles por medio de degradación la cual comienza en la boca al masticar, luego en el estómago y el intestino delgado y grueso (Heany, 2001).

Los minerales y algunos otros nutrientes, existen en distintas formas químicas dentro de los alimentos, y esto puede influir en su biodisponibilidad (Heany, 2001).

2. Potenciadores de la biodisponibilidad de nutrientes. Los nutrientes pueden interactuar entre sí o con otros componentes de la alimentación en el lugar de absorción, lo que produce un cambio en la biodisponibilidad o, si los potenciadores y los inhibidores se anulan mutuamente, un efecto nulo. Los potenciadores pueden actuar de formas diferentes, manteniendo el nutriente soluble o protegiéndolo de la interacción con los inhibidores. Por ejemplo, como los

carotenoides son liposolubles, añadir pequeñas cantidades de grasa o aceite a la comida (3-5 g por comida) mejora su biodisponibilidad. De forma similar, aunque la carne, el pescado y las aves contienen hierro altamente biodisponible, también se sabe que potencian la absorción del hierro de todos los alimentos. Aunque aún no se ha identificado este “factor cárnico”, se cree que puede deberse a la influencia de la proteína muscular. La vitamina C también puede ser de gran ayuda y puede aumentar la absorción del hierro dos o tres veces. Es decir, que tomar un vaso de zumo de naranja con los cereales del desayuno contribuye a que el organismo utilice una proporción mayor del hierro presente en los cereales (Heany, 2001).

III. ANTECEDENTES

En Guatemala existe la Incaparina. Desarrollada por el INCAP en el año 1956, esta mezcla contenía originalmente 70% de harina de maíz y 30% de harina de algodón y estaba fortificada con vitaminas deficitarias en la población guatemalteca: vitamina A, tiamina, riboflavina, vitamina B12, ácido fólico, calcio, hierro y zinc. Luego, debido a la poca disponibilidad del algodón, en los años 90, se sustituyó éste por soya, dejando la misma proporción de maíz, utilizando como base estudios del Dr. Ricardo Bressani, teniendo distintas evaluaciones bioquímicas y clínicas con resultados muy positivos. En cuanto al impacto de esta mezcla vegetal, se realizó un estudio que duró aproximadamente cuarenta años, en el cual se demostró que existe una relación directa entre el consumo de Incaparina y el aumento en talla y escolaridad de los consumidores (niños); el desarrollo humano también fue mejorado en los lugares donde se brindó la Incaparina y se realizó este estudio. Otro estudio realizado por el INCAP entre los años 60s y 70s evidenció que 40 años después de haber sido brindada una alimentación de mezclas complementarias en cuatro aldeas rurales de Guatemala, los aspectos de desarrollo de capital humano fueron muy buenos (Ramirez *et al*, 2010).

En Colombia, a partir de 1970 se iniciaron las investigaciones para desarrollar su primera mezcla vegetal. Fue diseñada por el departamento de nutrición de la Universidad del Valle de Colombia, es una mezcla que contiene 70% de arroz y 30% de soya. La soya aporta al arroz la lisina y el arroz aporta metionina y cistina a la soya. El balance de aminoácidos esenciales fue validado por medio de estudios biológicos. El PER de la Colombiharina es de 3.3% comparada con el 3.5% de la clara del huevo. Se ha enriquecido con vitaminas y minerales deficitarios en la población colombiana, tales como vitaminas del complejo B, Hierro, Calcio, Fósforo, Zinc y Vitamina C (Gómez, 2008).

En cuanto a la aceptabilidad de mezclas vegetales, en un estudio, realizado en el 2006 se formularon cuatro mezclas vegetales utilizando un tubérculo o cereal y una leguminosa (trigo-haba, avena-soya, camote-soya, trigo-soya); por medio del método “puntaje químico” se calcularon las cantidades de cada alimento de manera que se compensaran los aminoácidos limitantes en ellos y mejorara la calidad proteica de la mezcla. Las mezclas calculadas se prepararon en forma de atoles y tuvieron una aceptabilidad mayor de 94% excepto el de trigo-haba, cuya aceptabilidad fue de 76% (Ruano 2005). También se realizó un estudio sensorial en

tortillas de maíz fortificadas con harina de amaranto, se idearon cuatro formulaciones de tortilla de maíz fortificada con 10% de una mezcla de harinas de amaranto (*Amaranthusspp.*), frijol (*Phaseolusvulgaris*) y nopal (*Opuntia ficus-indica*) para aumentar su cantidad de proteína, fibra y micronutrientes. A estas formulaciones se les evaluó sensorialmente mediante una escala hedónica aplicada a 32 jueces y una prueba de comparaciones múltiples aplicada a 18 jueces semi entrenados, con el objetivo de observar su aceptación y similitud con un control (tortilla 100% de maíz nixtamalizado). Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en la aceptación y la textura de la formulación, siendo la formulación 90:2:6:2 la mejor aceptada sensorialmente respecto al control (Vásques *et al*, 2010).

Además, un grupo de científicos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), dirigido por Abraham Méndez, determinó el efecto de la adición de frijol blanco sobre ciertas propiedades nutricionales, fisicoquímicas y texturales de tortillas. Las mezclas de maíz-frijol blanco utilizadas fueron 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, y 75:25. Las mezclas fueron procesadas utilizando el proceso tradicional de nixtamalización. Al aumentar la cantidad de frijol en las tortillas se registraron contenidos mayores de proteína, lisina y triptófano. Con la adición de 25% de frijol, los contenidos de lisina y triptófano aumentaron en 56 y 36% el valor del perfil FAO, hasta 95 y 84% respectivamente. Se concluye que las tortillas hechas con las mezclas indicadas no solo mejoran su calidad proteica, sino que presentan propiedades fisicoquímicas y texturales similares a las de las tortillas preparadas con maíz (Cuevas, 2010).

Se realizó un espagueti con adición de harina de frijol común. El espagueti es considerado como un alimento con almidón de lenta digestibilidad. Varios estudios han reportado que el valor nutricional de los espaguetis se incrementa utilizando leguminosas. En este estudio se utilizó harina de frijol en diferentes porcentajes en la formulación de los espaguetis y se demostró que, a mayor contenido de harina de frijol, se obtenían las siguientes ventajas nutricionales: menor tiempo de cocción, mayor contenido de proteína y mayor contenido de almidón resistente (Gallegos *et al*, 2010).

En cuanto a *snacks* de frijol, se elaboró y caracterizó frijoles fritos tipo *snack*. El objetivo de este estudio fue desarrollar un producto crocante tipo "*snack*" en base a frijol frito utilizando para ello tres variedades: Pinto 114, Suave 85 y Tórtola Inia, los cuales se remojaron en dos soluciones: sal disódica de EDTA y una mezcla de NaOH/Agua, determinando si éstas tenían

algún efecto sobre la calidad final de los productos. Por otra parte, antes que los frijoles se sometieran al proceso de fritura, una parte de los granos fue tratada térmicamente (cocción lenta en agua) y otros no sufrieron este tratamiento (crudo) lo que también constituyó un efecto sobre la calidad final de los frijoles fritos. A los productos fritos obtenidos se les determinó sus características físicas, químicas y sensoriales. En las tres variedades utilizadas los productos cocidos presentaron un mayor contenido de humedad, una mayor absorción de aceite, un menor contenido de proteína y una mayor actividad de agua, no encontrándose efecto de las soluciones de remojo sobre la calidad de los productos elaborados (Hurtado, 2001).

Sobre el efecto que produce la fermentación en algunos alimentos consumidos por niños en grado de escolaridad, en Venezuela se desarrollaron tres alimentos a base de mezclas de trigo y leguminosas, fermentadas y sin fermentar, a los fines de contribuir con una oferta saludable para las meriendas escolares. Para ello se sustituyó parcialmente la harina refinada de trigo por harinas integrales de leguminosas, en la elaboración de ponqués, *brownies* y galletas, alimentos tradicionalmente consumidos por los niños en edad escolar. Se formularon ponqués sustituyendo 20% de la harina de trigo por *Phaseolus vulgaris*, *brownies* con sustituciones de 30% de *Cajanus cajan* y galletas con 30% de *Vigna sinensis*, utilizando en los tres productos las leguminosas tanto fermentadas como no fermentadas. Al evaluar sensorialmente estos productos mediante un test de grado de aceptación y usando una escala hedónica de 7 puntos, se encontraron para todos los productos valores superiores a cinco en los atributos, sabor, color y apreciación global. Adicionalmente, se midió la preferencia con un grupo de 90 escolares, corroborándose los resultados obtenidos a nivel de laboratorio. La caracterización química indicó contenidos de proteínas entre 12 y 13% para el ponqué, 10 y 11% para los *brownies* y 10% para las galletas y digestibilidades proteicas in vitro de 91%, 87% y 93%, respectivamente. Se concluyó que es técnicamente posible incorporar *Phaseolus vulgaris*, *Vigna sinensis* y *Cajanus cajan*, fermentadas y no fermentadas, a productos de alto consumo como ponqués, *brownies* y galletas de mayor contenido nutricional y bien aceptados por niños escolares (Granito *et al*, 2010).

IV. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala, para el período entre el 2010 y el 2012, existió una prevalencia de subnutrición del 30%, además a nivel de Latinoamérica y El Caribe, ocupa el primer lugar en prevalencia de malnutrición y es el sexto país a nivel mundial (UNICEF, 2013). Los primeros datos sobre las deficiencias nutricionales en el país se conocen en la década de los treinta (INCAP, 1980). Estos datos se comenzaron a recabar debido a investigaciones realizadas por pediatras nacionales, de toda América Latina y de investigadores que estudiaban síndromes de desnutrición proteica en todo el mundo. Se planteó que si bien, existe déficit de vitaminas en las poblaciones vulnerables, se subraya la importancia de la hipoproteinemia y de la falta de minerales; se comprobó que las dietas de los niños no solo eran insuficientes en cantidad, sino que también desequilibradas y bajas en calidad proteica. Se señaló la carencia de proteínas y minerales como un factor importante y se recomendó la aplicación de una dieta adecuada para su prevención (Autret y Behar, 1955).

Los principales problemas de nutrición en la población guatemalteca en general, son la desnutrición proteica, la anemia por deficiencia de hierro y el sobrepeso y obesidad. Estos padecimientos afectan a niños preescolares, escolares y adolescentes, así como también a madres y adultos en general (Palmieri y Delgado, 2011). El país se encuentra en una etapa de transición nutricional, en la cual predominan las deficiencias nutricionales y la desnutrición (FAO, 2010). Existe un problema de acceso y hábitos de consumo, y hay pocas opciones de alimentos saludables en el mercado. El consumo de proteínas es deficiente, según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2010). El acceso económico a las proteínas de origen animal es limitado y no hay consumo suficiente de proteínas de origen vegetal (ONU, 2013). Las proteínas de los alimentos de origen animal son proteínas completas con alto valor biológico, las cuales, aportan todos los aminoácidos indispensables en cantidades apropiadas. Cuando las proteínas poseen uno o más aminoácidos esenciales en cantidad limitada, se conocen como proteínas incompletas; al aminoácido esencial que se halla en cantidad limitada en la proteína, en relación con la proteína de referencia, se le conoce como aminoácido limitante. Este problema de proteínas incompletas se da en alimentos de origen vegetal, exceptuando a la soya (Velásquez, 2006).

Para ablandar el problema de las proteínas incompletas, existe la complementación proteica, que es combinar dos alimentos con proteínas incompletas, de tal manera que el aminoácido limitante de un alimento, se suple con el aporte de otra proteína existente en el alimento complementario, ya que en el alimento complementario, el aminoácido limitante existe en cantidad abundante (Velásquez, 2006).

Los “*snacks*” pueden ser diseñados para ser saludables. Estos pueden utilizarse como fuente de proteína y fibra, utilizando cereales enteros y leguminosas, así como procesos y formulaciones diferentes que permiten disminuir su contenido de grasa y sodio y aumentar la calidad proteica de los mismos utilizando mezclas vegetales.

La dieta fundamental del guatemalteco está formada en parte por maíz y frijol; estos dos vegetales están entre los cinco alimentos que son consumidos por más del 75% en los hogares de Guatemala (ONU, 2003). Además de esto, la dieta del guatemalteco es relativamente baja en alimentos de origen animal, y esta es la razón principal del estado hipo proteico de una parte de la población. Al combinar en cantidades óptimas un cereal como el maíz y una leguminosa como el frijol (alimentos consumidos normalmente por los guatemaltecos), se obtiene como resultado un alimento que posee una buena calidad proteica (Velásquez, 2006). Este fenómeno que se da al mezclar distintos vegetales con calidades proteicas complementarias, motivó que se produjeran productos a base de mezclas, como lo es la Incaparina, formulada con una mezcla de maíz y soya.

La demanda de productos preparados está creciendo en el mercado y en las agencias de ayuda alimentaria, quienes buscan productos que además de estar listos para consumir, tengan un alto grado de aceptabilidad. Desde el año 2000 en Indonesia y Camboya, se entrega a los niños en edad escolar un *snack* fortificado como parte de los esfuerzos de la organización IRD (Ayuda Internacional y Desarrollo por sus siglas en inglés) para disminuir los índices de desnutrición en esa región. Este *snack*, tradicionalmente hecho de trigo ha sido fortificado con vitaminas, minerales y 20% de soya, lo cual incrementa el contenido de proteína de 10% a 17%. El incremento en la cantidad de proteína fue considerado de vital importancia por el programa debido a que en estos países la desnutrición proteica calórica es mayor del 25%. Adicional a esto, el producto obtuvo una aceptabilidad del 97% en escolares, requisito indispensable para el éxito de los programas de ayuda alimentaria (Gallivan, 2003). Asimismo, en Camerún se inició la producción del mismo *snack* fortificado, con la ayuda de las organizaciones IRD y USDA (United States Department of Agriculture) con el objetivo de contar con un proveedor local para distribuir

el producto como parte de programas escolares de ayuda alimentaria. La ventaja de este “*snack*” es que tiene precio asequible, tanto para el mercado comercial como para las agencias humanitarias y proporciona comida preparada en tiempos de escasez o hambre. Este producto ha sido suministrado en escuelas, hospitales, y supermercados y las pruebas de aceptabilidad realizadas con niños reportaron 100% de aceptabilidad en sabor y en intención de compra (Feurstein, 2010).

En Guatemala no hay un “*snack*” alto en proteína y con un alto grado de aceptabilidad para el consumidor final en el mercado o que pueda ofrecerse a organizaciones de ayuda alimentaria para situaciones de emergencia o para combatir la desnutrición proteica calórica. Por lo tanto, se considera importante orientar esfuerzos para desarrollar productos que contribuyan a mejorar la alimentación de la población guatemalteca, en donde el acceso económico a proteínas de origen animal es escaso. Además, para tratar la problemática de déficit en minerales, también es necesario implementar nuevos procesos que permitan que la absorción de éstos sea mayor.

V. OBJETIVOS

A. General

Elaborar un *snack* horneado de alto valor proteico a base de de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) biofortificado (relación 70:30) con una mejora en la biodisponibilidad de hierro, calcio y zinc.

B. Específicos

1. Desarrollar una mezcla alimenticia de calidad proteica mejorada a base de maíz nixtamalizado y frijol mejorado.
2. Realizar un proceso de fermentación en la mezcla alimenticia utilizando lactobacilos para aumentar la biodisponibilidad de calcio hierro y zinc en los *snacks* elaborados.
3. Determinar concentración de hierro, calcio y zinc en los *snacks* elaborados.
4. Establecer, mediante un análisis in vitro de biodisponibilidad en el *snack* elaborado, si existe un aumento significativo en la biodisponibilidad de hierro, calcio y zinc, luego de haber realizado un proceso de fermentación.

VI. METODOLOGÍA

A. Localización

El proceso de elaboración de la mezcla alimentaria, fermentación de la misma y elaboración del *snack* horneado se llevó a cabo dentro de los laboratorios del Departamento de Ingeniería de Ciencias de Alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala, así como también la investigación analítica. La determinación final de la cantidad de minerales en el *snack* se realizó en los laboratorios de LAPROMED en la Ciudad de Guatemala.

B. Materiales y equipo

El maíz y el frijol negro se adquirieron en el Mercado Central de la Ciudad de Guatemala. El frijol mejorado (ICTA EPR-9), fue brindado por el Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CECTA).

Los lactobacilos fueron adquiridos en una farmacia local como suplemento de restauración de flora intestinal marca “Lactéol® fort” (polvo para suspensión oral).

Se utilizó el equipo de los laboratorios del departamento de ingeniería en ciencias de alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala. Los reactivos químicos para los análisis de laboratorio, fueron proporcionados por el departamento de ingeniería en ciencias de alimentos.

C. Diseño experimental

1. Desarrollo de la mezcla alimenticia

a. Cocción de maíz. Para el maíz se llevó a cabo el proceso de nixtamalización, el cual consistió en añadir 1.5g de cal en grado alimenticio por cada 100g de maíz durante la cocción del mismo. Se procedió a calentar la mezcla a 100°C durante 40 minutos; condiciones que aseguran la cocción del maíz (Martínez *et al*, 2010). Luego de esto, se dejó reposar el maíz cocido durante 24 horas, tiempo después del cual, se realizó un lavado al maíz.

b. Cocción de frijol. Se procedió a cocer el frijol en olla de presión, siguiendo las instrucciones detalladas para el equipo utilizado. El proceso de cocción del frijol se realizó durante 35 minutos. Este procedimiento se realizó por separado para el frijol mejorado y el frijol no mejorado.

c. Elaboración de masa. Se realizó una molienda, tanto del maíz como del frijol para luego, realizar dos mezclas, ambas con una relación 70:30 de maíz y frijol respectivamente en base seca. Una mezcla fue utilizando el frijol mejorado y la otra el frijol no mejorado.

d. Fermentación. Se llevó a cabo un proceso de fermentación al 50% de ambas mezclas elaboradas. La fermentación se realizó agregando un 3% (masa-masa) de lactobacilos a ambas mezclas, mezclando homogéneamente estos en la masa y dejando reposar a temperatura ambiente durante 24 horas.

2. Elaboración del snack horneado. El *snack* se elaboró laminando la masa de mezcla vegetal previamente realizada, teniendo un grosor de aproximadamente 1mm. Luego de esto, se cortó la masa en cuadrados de 3cm de largo y 3cm de ancho. Los cuadrados de masa fueron sometidos a proceso de horneado durante 40 min a 110°C.

3. Determinación de la concentración de hierro, calcio y zinc. La determinación del hierro, calcio y zinc se realizaron mediante el método 999.11 AOAC.

4. Determinación de biodisponibilidad de hierro, calcio y zinc. Para determinar la biodisponibilidad de los minerales, se procedió a calcular la dializabilidad de los mismos como un indicador. Esta fue determinada por medio del método in vitro de Miller modificado por Wolfgor y Cols. El procedimiento involucra una digestión enzimática en condiciones que simulan las fisiológicas. Cada muestra fue homogeneizada para facilitar su posterior análisis. Alícuotas de 50 g de los homogeneizados fueron mezcladas con 5 ml de una solución acuosa al 3% de α -amilasa, durante 30 minutos a 37° C con agitación. Luego, el pH se ajustó a 2 con solución valorada de HCl 6N, y se agregaron 1,6 ml de pepsina-HCl (16 g/100 ml en HCl 0,1N), calentando la mezcla a 37° C durante dos horas, con agitación (digestión estomacal). Dos alícuotas de 15 g del digerido se colocaron en erlenmeyers con bolsas de diálisis (Spectrapore Molecular Weight cut-off 6000-8000) conteniendo 18,75 ml de buffer PIPES 0,15 M y pH variable. Después de una hora de incubación, cuando el pH alcanzó un valor mínimo de 4,5,

se agregaron 3,75 ml de una mezcla de bilis-pancreatina (2,5% bilis y 0,4% pancreatina en NaHCO_3 0,1N) prosiguiéndose la incubación durante dos horas a 37° C (digestión intestinal). Las bolsas de diálisis fueron removidas y enjuagadas con agua y los dializados se transfirieron a tubos tarados y se pesaron. Los minerales dializados se determinaron por espectroscopía de absorción atómica (Wolfgor *et al*, 2002).

5. Análisis estadístico. El análisis estadístico se realizó utilizando la herramienta ANOVA con $p < 0.05$ en Microsoft Excel ® 2007.

VII. RESULTADOS

En la Tabla No. 5, se puede observar las distintas composiciones de las mezclas vegetales elaboradas, es decir, el contenido general de la misma y los procesos tecnológicos (nixtamalización y fermentación) realizados durante el proceso de elaboración de las mismas.

Tabla 5: Nombres de las distintas mezclas vegetales elaboradas

| Nombre de la mezcla | Componentes |
|---------------------|---|
| Mezcla 1 | Maíz nixtamalizado + frijol común |
| Mezcla 2 | Maíz nixtamalizado + frijol común + fermentación |
| Mezcla 3 | Maíz nixtamalizado + frijol mejorado |
| Mezcla 4 | Maíz nixtamalizado + frijol mejorado + fermentación |

Para las mezclas 1 y 2, se utilizó maíz nixtamalizado y frijol común, la diferencia entre estas dos mezclas es que a la mezcla 2, se le realizó un proceso de fermentación. Lo mismo sucedió con las mezclas 3 y 4, únicamente que a diferencia de las mezclas 1 y 2, en las mezclas 3 y 4 se utilizó un frijol mejorado (ICTA EPR-9) en lugar del frijol común. Para todas las mezclas se utilizó maíz previamente nixtamalizado.

Para la elaboración de las mezclas, se utilizaron distintos componentes, ya que se utilizaron dos variedades de frijol y además de esto, se utilizaron distintos procesos tecnológicos. En la tabla No. 6 se puede ver los distintos componentes utilizados para las cuatro mezclas elaboradas

Tabla 6: Composición de las distintas mezclas alimenticias elaboradas

| Mezcla** | Maíz* (g) | Frijol común* (g) | Frijol mejorado* (g) | Lactobacilos (g) |
|----------|--------------|----------------------|-------------------------|---------------------|
| Mezcla 1 | 280 ± 0,05 | 120 ± 0,05 | N/A | N/A |
| Mezcla 2 | 280 ± 0,05 | 120 ± 0,05 | N/A | 13,2 ± 0,05 |
| Mezcla 3 | 280 ± 0,05 | N/A | 120 ± 0,05 | N/A |
| Mezcla 4 | 280 ± 0,05 | N/A | 120 ± 0,05 | 13,2 ± 0,05 |

*Base seca

**Mezcla 1: Maíz nixtamalizado + frijol común.

Mezcla 2: Maíz nixtamalizado + frijol común + fermentación.

Mezcla 3: Maíz nixtamalizado + frijol mejorado.

Mezcla 4: Maíz nixtamalizado + frijol mejorado + fermentación.

Se utilizó maíz y cal para todas las mezclas, ya que en las cuatro composiciones elaboradas, se utilizó maíz nixtamalizado. Además de esto, también se utilizó frijol común para las mezclas 1 y 2 y frijol mejorado para las mezclas 3 y 4. Para determinar el efecto de la fermentación en la biodisponibilidad de los minerales, fue necesario agregar lactobacilos a dos mezclas, las cuales fueron 2 y 4, de tal manera que existen 4 distintas mezclas vegetales con 2 distintas variedades de frijol, y una mezcla con frijol común y una mezcla con frijol mejorado, sometidas a proceso de fermentación.

En la Tabla No. 7, se puede observar la concentración de los tres minerales evaluados en la investigación, los cuales son calcio, hierro y zinc. Todos los valores están expresados en partes por millón.

Tabla 7: Concentración total de hierro, zinc y calcio en los *snacks* horneados en las distintas mezclas alimenticias elaboradas.

| Mezcla* | Calcio (ppm) | Hierro (ppm) | Zinc (ppm) |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Mezcla 1 | 627,2 ± 1,75 ^a | 26,50 ± 1,75 ^a | 15,20 ± 1,75 ^a |
| Mezcla 2 | 627,8 ± 1,75 ^a | 27,04 ± 1,75 ^a | 15,85 ± 1,75 ^a |
| Mezcla 3 | 630,9 ± 1,75 ^a | 29,97 ± 1,75 ^b | 20,21 ± 1,75 ^b |
| Mezcla 4 | 631,1 ± 1,75 ^a | 29,86 ± 1,75 ^b | 21,15 ± 1,75 ^b |

*Mezcla 1: Maíz nixtamalizado + frijol común.

Mezcla 2: Maíz nixtamalizado + frijol común + fermentación.

Mezcla 3: Maíz nixtamalizado + frijol mejorado.

Mezcla 4: Maíz nixtamalizado + frijol mejorado + fermentación.

Se puede observar que el calcio, es el mineral que mayor concentración posee en todas las mezclas, seguido por el hierro y finalmente el zinc, que es el mineral que está en menor concentración. En cuanto al hierro y al zinc, en las mezclas 3 y 4 existe una mayor concentración respecto a las mezclas 2 y 1 respectivamente.

En la Tabla No. 8, se pueden observar los distintos valores de porcentaje de dializabilidad y de concentración de biodisponibilidad de los tres minerales evaluados en el trabajo: Calcio, hierro y zinc. En cuanto a la biodisponibilidad del hierro y del zinc, se puede determinar que existe una diferencia significativa entre todos los valores, es decir, entre las mezclas de frijol común con las de frijol mejorado y también entre las mezclas que se sometieron a proceso de fermentación y las mezclas que no fueron fermentadas.

Tabla 8: Porcentaje de dializabilidad y biodisponibilidad de calcio, hierro y zinc en el *snack* horneado utilizando las distintas mezclas elaboradas.

| Mezcla* | Porcentaje de mineral dializado | | | Biodisponibilidad | | |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Calcio (%) | Hierro (%) | Zinc (%) | Calcio (ppm) | Hierro (ppm) | Zinc (ppm) |
| Mezcla 1 | 83,36 ± 2,56 ^a | 80,45 ± 2,45 ^a | 78,56 ± 2,63 ^a | 516,8 ± 24,23 ^a | 21,32 ± 2,63 ^a | 11,94 ± 2,55 ^a |
| Mezcla 2 | 88,23 ± 1,85 ^b | 85,23 ± 1,76 ^b | 81,54 ± 1,95 ^b | 533,2 ± 18,54 ^b | 24,87 ± 1,86 ^b | 14,05 ± 1,91 ^b |
| Mezcla 3 | 83,46 ± 1,95 ^a | 80,89 ± 1,85 ^a | 80,73 ± 2,03 ^b | 534,1 ± 17,49 ^b | 26,78 ± 1,99 ^c | 16,32 ± 2,06 ^c |
| Mezcla 4 | 89,54 ± 2,05 ^c | 85,78 ± 1,95 ^b | 86,78 ± 1,98 ^c | 557,5 ± 16,95 ^c | 29,70 ± 2,01 ^d | 18,35 ± 2,19 ^d |

*Mezcla 1: Maíz nixtamalizado + frijol común.

Mezcla 2: Maíz nixtamalizado + frijol común + fermentación.

Mezcla 3: Maíz nixtamalizado + frijol mejorado.

Mezcla 4: Maíz nixtamalizado + frijol mejorado + fermentación.

Tabla 9: Valores de p entre las distintas mezclas elaboradas al realizar análisis ANOVA en el porcentaje de calcio dializado.

| Pc=2.33E-9 | Mezcla 1 | Mezcla 3 | Mezcla 2 |
|-----------------|----------|----------|----------|
| Mezcla 3 | 0,642318 | | |
| Mezcla 2 | 1,17E-08 | 1,38E-08 | |
| Mezcla 4 | 1,73E-09 | 1,97E-09 | 0,000209 |

Tabla 10: Valores de p entre las distintas mezclas elaboradas al realizar análisis ANOVA en el porcentaje de hierro dializado.

| Pc=6,74E-09 | Mezcla 1 | Mezcla 3 | Mezcla 2 |
|-----------------|----------|----------|----------|
| Mezcla 3 | 0,066475 | | |
| Mezcla 2 | 1,36E-08 | 2,92E-08 | |
| Mezcla 4 | 5,6E-09 | 1,11E-08 | 0,02566 |

Tabla 11: Valores de p entre las distintas mezclas elaboradas al realizar análisis ANOVA en el porcentaje de zinc dializado.

| Pc=1,24E-09 | Mezcla 1 | Mezcla 3 | Mezcla 2 |
|-----------------|----------|----------|----------|
| Mezcla 3 | 6,3E-06 | | |
| Mezcla 2 | 5,91E-07 | 0,005323 | |
| Mezcla 4 | 1,89E-10 | 2,16E-09 | 6,53E-09 |

Tabla 12: Valores de p entre las distintas mezclas elaboradas al realizar análisis ANOVA en el porcentaje de biodisponibilidad del calcio.

| Pc=1,31E-16 | Mezcla 1 | Mezcla 3 | Mezcla 2 |
|-----------------|----------|----------|----------|
| Mezcla 3 | 4,94E-13 | | |
| Mezcla 2 | 1,31E-15 | 2,31E-13 | |
| Mezcla 4 | 2,17E-17 | 3,19E-16 | 3,23E-14 |

Tabla 13: Valores de p para las distintas mezclas elaboradas al realizar análisis ANOVA en el porcentaje de biodisponibilidad del hierro.

| Pc=1,17E-9 | Mezcla 1 | Mezcla 2 | Mezcla 3 |
|-----------------|----------|----------|----------|
| Mezcla 2 | 1,51E-07 | | |
| Mezcla 3 | 4,89E-09 | 1,51E-05 | |
| Mezcla 4 | 1,62E-10 | 1,24E-08 | 6,56E-07 |

Tabla 14: Valores de p para las distintas mezclas elaboradas al realizar análisis ANOVA en el porcentaje de biodisponibilidad del zinc.

| Pc=7,56E-09 | Mezcla 1 | Mezcla 2 | Mezcla 3 |
|-----------------|----------|----------|----------|
| Mezcla 2 | 8,38E-06 | | |
| Mezcla 3 | 2,8E-08 | 4,26E-06 | |
| Mezcla 4 | 1,36E-09 | 3,07E-08 | 1,01E-05 |

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para elaborar un *snack* horneado de alto valor proteico a base de maíz y frijol biofortificado con una mejora en la biodisponibilidad de hierro, calcio y zinc, se procedió a desarrollar distintas mezclas vegetales alimenticias.

La base del *snack* fue elaborada a partir de maíz y frijol. Debido a que la combinación óptima para obtener la mejor calidad proteica entre ambos ingredientes es de 70% maíz y 30% frijol (Blandon, 1996), se procedió a elaborar la mezcla vegetal utilizando esta relación. Cabe mencionar que la relación 70:30 está calculada en base seca, ya que al momento de someter el maíz y el frijol a proceso de cocción húmeda, estos absorben agua y existen muchos factores que inciden en este fenómeno, por lo que la medición de la masa para elaborar la mezcla vegetal, se realizó previo al proceso de cocción.

Para la cocción del maíz, se llevó a cabo el proceso de nixtamalización. Este proceso ayudó a eliminar la cascarilla del maíz, y también fue una fuente de calcio para el producto final, ya que la cantidad de cal agregada al mismo, funcionó como un fortificador de la mezcla vegetal. El maíz cocido se separó en dos, ya que para todas las mezclas vegetales elaboradas se utilizó maíz nixtamalizado como se puede observar en la Tabla No. 5 en la sección de resultados.

Se utilizó frijol para la parte restante de la mezcla vegetal. Para esta investigación se utilizó frijol común y frijol biofortificado en variedades negro e ICTA EPR-9. El proceso de cocción de ambos, se dio de la misma manera. Se trabajó en olla de presión para disminuir el tiempo de cocción, ya que a presiones elevadas, el agua alcanza temperaturas que sobrepasan los 100°C. El tiempo de cocción del frijol fue de 35 minutos. Ambas variedades de frijol fueron trabajadas por separado en ollas distintas para evitar una contaminación de los analitos a determinar.

Se elaboró una mezcla alimentaria obteniendo cuatro distintas masas: Dos idénticas de maíz, una de frijol común y otra de frijol biofortificado. Teniendo ya las cuatro masas, se realizaron dos mezclas, una de maíz con frijol común y otra de maíz con frijol biofortificado. Las cantidades de maíz y frijol en cada mezcla se pueden observar en la Tabla No. 6. Se ve que se utilizó la misma cantidad de maíz y la misma cantidad de frijol para todas las mezclas; esto se realizó para que, al momento de realizar los análisis de hierro, calcio y zinc, no existiera variabilidad y así poder

determinar cuantitativamente la diferencia de aporte de los minerales por parte de las distintas mezclas vegetales.

Para mejorar la biodisponibilidad de hierro, calcio y zinc en el alimento final, se realizó un proceso de fermentación a las masas de mezcla vegetal. Este proceso se aplicó a la mitad de la mezcla de maíz con frijol común y a la mitad de la mezcla de maíz y frijol biofortificado, para así obtener cuatro mezclas, las cuales están detalladas en la Tabla No. 5 de resultados. La mezcla 2 y la mezcla 4, fueron sometidas a proceso de fermentación para poder determinar si dicho proceso, aumenta o no la biodisponibilidad de los minerales estudiados. Para el proceso de fermentación se utilizaron lactobacilos, que son bacterias que se encuentran en la flora intestinal y pueden degradar distintos componentes en los alimentos. La cantidad de lactobacilos añadidos se puede observar en la Tabla No. 6 de la sección de resultados.

Como ya se ha estudiado, en los alimentos existen distintos componentes que pueden afectar negativamente en la biodisponibilidad de algunos nutrientes. Tal es el caso del ácido fítico, el cual se encuentra tanto en el maíz como en el frijol. El ácido fítico tiene la capacidad de quelar algunos minerales y así formar fitatos, los cuales no pueden ser digeridos por el ser humano (Bressani, 2008). Los lactobacilos, durante el proceso de fermentación, modifican dos variables que juegan un papel importante en la biodisponibilidad de los minerales que están unidos al ácido fítico: concentración de fitasa y pH. Durante el proceso de fermentación, los lactobacilos pueden generar fitasas, las cuales son enzimas que degradan los fitatos, liberando así al mineral quelado, lo cual aumenta la biodisponibilidad del mismo. Además de esto, el medio de fermentación tiende a acidificarse, y esta disminución del pH, aumenta la solubilidad de los minerales en la matriz alimenticia, por lo que propicia también la separación de los minerales que están quelados por el ácido fítico (Reale *et al*, 2007).

El proceso de elaboración del *snack* horneado, se realizó de la misma manera para las 4 mezclas obtenidas, esto para tener un mejor control del estudio y evitar que existan fuentes de error derivadas de someter las mezclas a distintas condiciones. Antes del horneado de las mezclas, se realizó un laminado de las masas. Este proceso se realizó estirando la masa sobre una superficie plana hasta obtener un espesor de más o menos 1mm. Se realizó este procedimiento para asegurar que los *snacks* elaborados fueran afectados por la temperatura de la misma manera, ya que al tener todos los *snacks* la misma medida de espesor, la transferencia de calor a través de los mismos, es muy similar, por lo tanto el efecto de la temperatura también. El proceso de horneado se realizó a

110°C durante 40 minutos. Durante este proceso, se obtienen características de textura y sabor deseables en un *snack*.

En la Tabla No. 7, de la sección de resultados, se puede observar la concentración total de calcio, hierro y zinc en cada una de las cuatro mezclas. La concentración de calcio en todos los *snacks* es muy similar, ya que no existen diferencias estadísticamente significativas de dicha concentración entre las distintas mezclas evaluadas. Esto es debido a que la principal fuente de calcio en el alimento es la cal agregada (Tabla No. 6) durante el proceso de nixtamalización. Ya que el contenido de cal es el mismo en todas las distintas mezclas, la concentración del calcio en las mismas no varía considerablemente. Caso distinto se presenta para el hierro y el zinc, cuyas concentraciones en las mezclas 3 y 4 son estadísticamente distintas a las concentraciones 1 y 2. Esto es debido a que para la elaboración de las mezclas 3 y 4 se utilizó frijol biofortificado (variedad ICTA EPR-9) y para las mezclas 1 y 2 se utilizó frijol común (Tabla No. 5). Debido a que la concentración total del mineral tiene un efecto directamente proporcional a la biodisponibilidad del mismo, se puede determinar indirectamente con estos resultados, que la biodisponibilidad del hierro y del zinc son mayores para las mezclas 3 y 4 que para las mezclas 1 y 2.

Para determinar la biodisponibilidad de los minerales, se procedió a realizar el método de Miller modificado por Wolfgor y Cols (Wolfgor *et al*, 2002). Este proceso consiste básicamente en replicar *in vitro*, las condiciones normales del sistema digestivo del ser humano, desde el proceso de masticación en la boca, hasta el proceso de absorción que se lleva a cabo en el intestino delgado, con una membrana, la cual asemeja la tarea que tiene el intestino al absorber los distintos nutrientes durante el proceso de digestión.

En la Tabla No. 8, se puede observar los resultados obtenidos del porcentaje de dializabilidad para el calcio, hierro y zinc en los *snacks* elaborados a partir de las cuatro distintas mezclas alimenticias. Para el calcio, se puede observar que el porcentaje de dializabilidad entre la mezcla 1 y 3, que son las mezclas que no fueron sometidas a proceso de fermentación no varía significativamente, por el contrario, el porcentaje de dializabilidad en las mezclas 2 y 4 sí son significativamente mayores. De todas las mezclas, la mezcla 4 fue la que mayor porcentaje de dializabilidad obtuvo. Esto indica que para el calcio, el proceso de fermentación mejoró en el porcentaje de dializabilidad. Un comportamiento muy similar resultó para el porcentaje de dializabilidad del hierro, ya que también las mezclas 1 y 3 no tuvieron cambios significativos,

pero las mezclas 2 y 4 sí. Entre el calcio y el hierro, no existe una diferencia significativa entre la mezcla fermentada con frijol común y la mezcla fermentada con frijol biofortificado. En ambos casos, el del calcio y el del hierro, se puede afirmar que el proceso de fermentación influye en el aumento del porcentaje de dializabilidad. Para el zinc el comportamiento fue distinto, ya que no existe una diferencia significativa entre las mezclas 2 y 3. Esto quiere decir que no existe diferencia alguna entre el porcentaje de dializabilidad del zinc utilizando el frijol biofortificado o utilizando frijol común con un proceso de fermentación. Esto se puede dar debido a que al momento de fermentar la mezcla con el frijol común, la liberación del mineral es tal, que la concentración libre del mismo, puede llegar a igualar a la concentración libre de zinc en el frijol mejorado. Esto indica que para el zinc, el proceso de fermentación mejora considerablemente la concentración libre del mismo.

Básicamente, el porcentaje de dializabilidad es el porcentaje de toda la concentración del mineral que puede llegar a ser absorbida por el cuerpo humano; es por eso que mientras mayor sea este porcentaje, mayor es la biodisponibilidad. Esta relación se puede observar en la Tabla No. 8, puesto que mientras mayor es el porcentaje de dializabilidad, mayor es la biodisponibilidad.

Con los valores de concentración total de los minerales en el *snack* y el porcentaje de dializabilidad de los mismos, se obtuvo la concentración biodisponible de éstos en la matriz alimentaria. El modelo matemático para determinar la biodisponibilidad de los nutrientes en los alimentos, resulta de multiplicar la concentración total del analito por el porcentaje de dializabilidad del mismo, el cual a su vez es una relación entre la concentración del analito digerido (obtenida antes de pasar la solución por la membrana) y del analito dializado (Wolfgor *et al*, 2002). Esto significa que, mientras mayor concentración de mineral exista en la matriz alimentaria, mayor es la biodisponibilidad del mismo; es por eso que, aunque no lo indique cuantitativamente, se puede utilizar la concentración total de un mineral como un parámetro de análisis para observar el comportamiento, indirectamente, de la biodisponibilidad del mismo. Esta relación se puede observar en las tablas No. 7 y No. 8 en la sección de resultados, ya que mientras mayor concentración de los minerales existe en la Tabla No. 7, mayor es la biodisponibilidad de los mismos en la Tabla No. 8.

La biodisponibilidad del calcio en los *snacks* elaborados aumentó luego de la fermentación. Esto puede observarse en la Tabla No. 8 en la sección de resultados. Se puede ver que existe un aumento entre la biodisponibilidad de las mezclas 1 y 2, así como también entre las mezclas 3 y 4.

La diferencia entre las mezclas 1 y 2, así como también la diferencia entre las mezclas 3 y 4, es que en la mezcla 2 y en la mezcla 4, se llevó a cabo un proceso de fermentación previo al horneado de los *snacks*. Para el calcio no existe una diferencia significativa entre las mezclas 2 y 3; esto pudo darse debido a que la concentración total de calcio en la matriz de la mezcla 2 es tal que se asemeja a la cantidad que se encuentra en la mezcla 3, ya que el calcio fue agregado en mismas cantidades y de igual manera a todas las mezclas elaboradas.

En cuanto a la biodisponibilidad de los minerales, hierro y zinc en los *snacks* elaborados a partir de las distintas cuatro mezclas trabajadas, se puede decir que efectivamente, el proceso de fermentación, causó un efecto positivo sobre ésta, ya que en la Tabla No. 8, se puede observar que existe un aumento estadísticamente significativo entre las muestras. Tanto entre las mezclas 1 y 2, como entre las mezclas 3 y 4, se observa que existe un aumento estadísticamente significativo para la concentración biodisponible de ambos minerales. Y, a diferencia del calcio, también existe una diferencia entre la mezcla 2 y la mezcla 3. Como se mencionó anteriormente, la biodisponibilidad depende tanto de la concentración total del mineral en la matriz alimentaria, como del porcentaje de dializabilidad. Este último es directamente proporcional a la biodisponibilidad.

Cabe resaltar que, aunque en efecto, con el proceso de fermentación de la matriz alimentaria que posee un 70% de maíz y un 30% de frijol (que es la mezcla óptima de ambos vegetales), se aumenta la biodisponibilidad tanto de calcio como de hierro y zinc, esto no necesariamente significa que se aumente la absorción de los minerales por parte del consumidor, ya que la absorción de los minerales no sólo depende de la biodisponibilidad de los mismos, sino que también de distintos factores fisiológicos de las personas que consumen dicho alimento, pero de esta manera sí están más disponibles para que el cuerpo de los consumidores puedan aprovecharlos (Heany, 2001).

IX. CONCLUSIONES

1. Se elaboró un *snack* horneado a partir de maíz y frijol, y maíz y frijol biofortificado, utilizando la relación idónea de ambos vegetales para obtener la mejor calidad proteica del mismo, la cual es de 70% maíz y 30% frijol.
2. Se realizó el proceso de fermentación utilizando lactobacilos, aumentando así, la biodisponibilidad de los minerales calcio, hierro y zinc.
3. La fermentación no aumentó significativamente la concentración total de los minerales calcio, hierro y zinc en el *snack* elaborado.
4. Utilizando el método de determinación de biodisponibilidad in vitro de Miller, se concluye que el proceso de fermentación, utilizando un 3% de lactobacilos (*Lactobacillus fermentum* y *Lactobacillus delbrueckii*) en las mezclas alimenticias elaboradas (70% maíz – 30% frijol), aumenta significativamente la biodisponibilidad de los minerales calcio, hierro y zinc en el *snack* elaborado a partir de dichas mezclas.

X. RECOMENDACIONES

1. Determinar el tiempo idóneo de fermentación para obtener la mayor biodisponibilidad de minerales en la matriz alimentaria.
2. Realizar un análisis sensorial del producto fermentado y del no fermentado, no solo para determinar la aceptabilidad del *snack*, sino que también para determinar si se percibe alguna diferencia por parte del consumidor.
3. Determinar si existe o no un cambio en la vida de anaquel entre el *snack* que pasó por un proceso de fermentación y el que no.
4. Realizar el mismo análisis, pero variando los tiempos y temperaturas de horneado, para determinar si la temperatura afecta significativamente la biodisponibilidad de los minerales.
5. Variar tiempos y temperaturas en los procesos de cocción de maíz y frijol y determinar si existen cambios en la biodisponibilidad de los minerales, y de ser así, encontrar las condiciones idóneas para obtener la mayor biodisponibilidad posible en la matriz alimentaria.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Autret M. y Behar M. 1995. *Síndrome policarencial infantil y su prevención en la América Central*. Oficina Sanitaria Panamericana. Publicación Científica No. 17.
2. Blandón, P. A. 1986. *Fundamentos de Nutrición*. San José, Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia. 146 p.
3. Bressani, R. 1972. *Mejoramiento de las Dietas a Base de Maíz Enriquecido con Aminoácidos y Proteínas Suplementarios*. Mejoramiento de la Calidad proteínica del maíz. Guatemala, INCAP. pp. 41-61.
4. Cuevas-Martínez, D., et al. 2010. *Nutrition and Texture Evaluation of Maize-white Common Bean Nixtamalized Tortillas*. *Interciencia*. (VE). (35): 828-832.
5. Delolme, S. 1999. *La Enseñanza en la Uned*. 12ª. ed. San José, Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia. 88 p.
6. FAO. 2010. *Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en America Latina y el Caribe*. Italia, - FAO. 90 p.
7. Feurstein, Sara. 2010. *Worldwide Support Network Plays Powerful Role in Creation of Cameroon Company*. USA, United States Department of Agriculture. (s.p.)
8. Foster-Powell K. et. al. 1995. *International tables of glycemic index*. *American Journal of Clinical Nutrition*. (US). (62): 871S-893S.
9. Fuentes, M. 2002. *El cultivo del maíz en Guatemala: Una guía para su manejo agronómico*. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA). 45pp.
10. Gallegos, J.A. et. al. 2010. *Effect of the Addition of Common Bean (Phaseolus vulgaris L.) Flour on the In Vitro Digestibility of Starch and Undigestible Carbohydrates in Spaghetti*. *Journal of Food Science*. (US). 75(5): 151-156.
11. Gallivan, Donna R. 2003. *Soy Snack Noodles are Success in Indonesian School Children*. *Grainnet*. (US). (s.p.).
12. Giraud, C.B. 2006. *Nutrición Básica Humana*. España, Universidad de Valencia. 421 p.

13. Gómez L. Conferencia del Día Mundial de la Alimentación Colombiana. 2008. Colombia. *Las mezclas vegetales, solución a la falta de proteínas de buena calidad*. Gómez, L. M. Colombia, (s.e.). 6 p.
14. Granito, M. Valero, Y. y Zambrano, R. 2010. *Desarrollo de productos horneados a base de leguminosas fermentadas y cereales destinados a la merienda escolar*. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. Vol. 60 No. 1.
15. Heaney RP. (2001). *Factors influencing the measurement of bioavailability, taking calcium as a model*. Journal of Nutrition 131(suppl):1344S-1348S.
16. Hernández H. 2002. *Microbiología industrial*. 1ra Ed. Editorial Universidad Estatal a distancia. Costa Rica. 269 pp
17. Hui, Y.H. 2006. *Handbook of Food Science Technology and Engineering*. (US). 1:3, 618.
18. Hurtado, M.L. et. al. 2001. *Elaboración y caracterización de frijoles fritos tipo "snack" cultivar Pinto 114, Suave 85 y Tórtola Inia*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. (VE). (51):2.
19. INE. (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2008. *Hoja de Balance de Alimentos. Guatemala, INE*. (s.p.).
20. Ministerio de Salud Pública. 2009. *Encuesta Mundial de Salud Escolar. Capítulo Guatemala*. 2009. Guatemala, Ministerio de Salud Pública. 245 p.
21. Naciones Unidas (ONU). 2003. *Grupo de Seguridad Alimentaria Nutricional. Situación de la Seguridad Alimentaria y Nutricional de Guatemala*. Guatemala, Naciones Unidas. 143 p.
22. Nestares, T. et. al. 2003. *Effect of different soaking solution on nutritive utilization of minerals (calcium, phosphorus, and magnesium) from cooked beans (Phaseolus vulgaris L) in growing rats*. Journal of Agriculture Food Chem. (US). 51: 515-520.
23. Owusu – Apenten, R. 2002. *Food Protein Análisis. Quantitative effects on processing*. USA, Marcel Dekker Inc. 488 p.
24. Palmieri M. y Delgado H. 2011. *Análisis situacional de la malnutrición en Guatemala: sus causas y abordaje*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Cuadernos de Desarrollo Humano. 42 pp.
25. Pérez F. y Zamora S. 2002. *Nutrición y alimentación humana*. 1ra Ed. EDITUM. Murcia, España. 305 pp.
26. Ramirez, M. et. al. 2010. *INCAP Oriente Longitudinal Study: 40 years of History and Legacy*. Journal of Nutrition. (US). (140):397-401.

27. Reale, A., Konietzny, U. Coppola, R., Sorrentino, E. y Greiner R. 2007. *The importance of lactic acid bacteria for phytate degradation during cereal dough fermentation*. *Agric and food chemistry*. Abril 18;55.
28. Rojas Lima, Flavio. 1988. *La Cultura del Maíz en Guatemala*. Guatemala, Ministerio de Cultura y Deportes. 146 p.
29. UNICEF. 2013. *Protegiendo la nueva cosecha: Un análisis del costo de erradicar el hambre en Guatemala*. Boletín No. 4. 97 pp.
30. Vázquez et al. 2010. Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (12). 2010. México, Universidad de Guanajuato. *Evaluación Sensorial de Tortillas de Maíz fortificadas con harina de Amaranto, Frijol y Nopal*.
31. Velásquez G. 2006. *Fundamentos de alimentación saludable*. 1ra Edición. Editorial de Universidad de Antioquía. Colombia. 283 pp.
32. Wolfgor R, Drago SR, Rodríguez V, Pellegrino N, Valencia. 2002 *In Vitro measurement of iron availability in fortified foods*. *Food Res*; 35: 85-90.
33. Walker & Hymowitz. 1972. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, USA, Taylor & Francis. vol. 3. pp. 505 – 511.