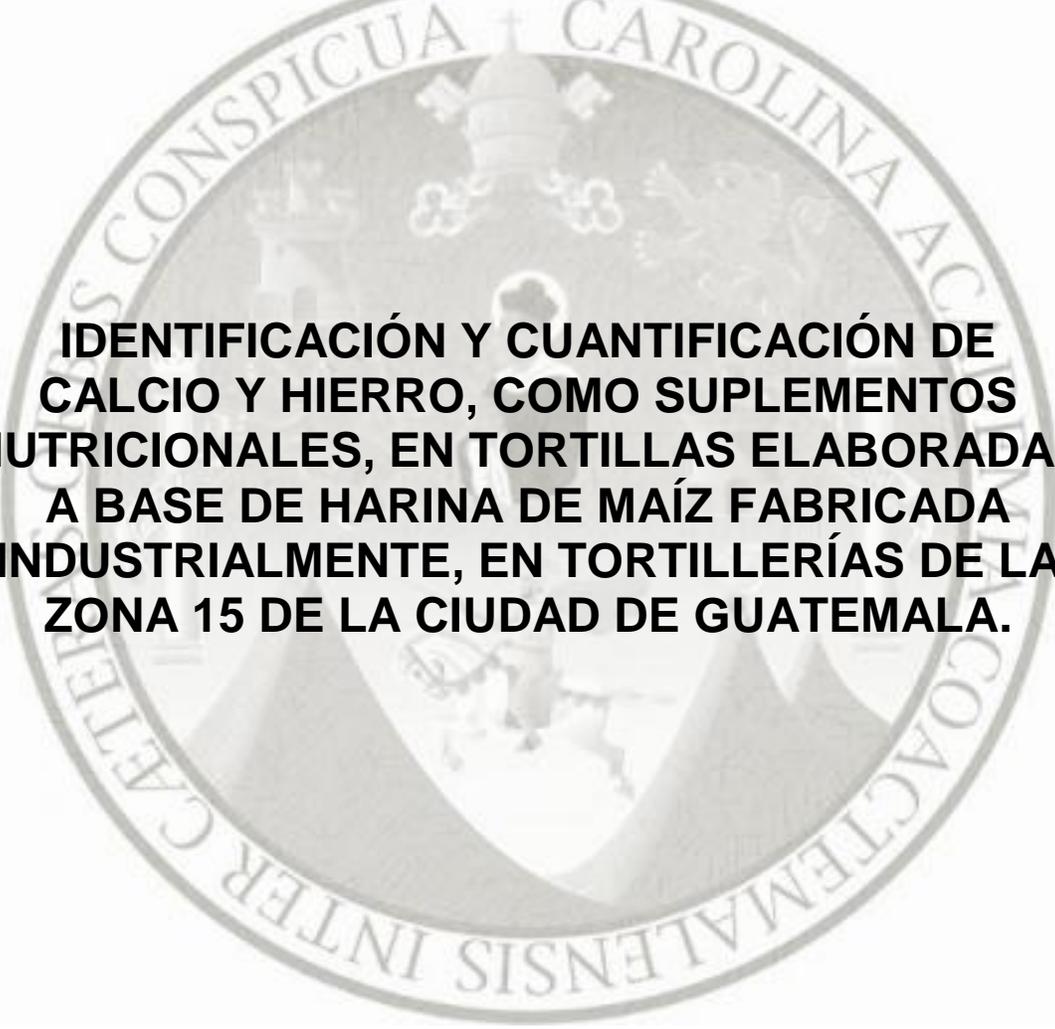


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a cross, surrounded by a wreath. The shield is set against a background of a globe. The Latin motto "SCIENTIA CONSPICUA CAROLINA ACCTEMALENSIS INTER CATHEDE" is inscribed around the perimeter of the seal.

**IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE
CALCIO Y HIERRO, COMO SUPLEMENTOS
NUTRICIONALES, EN TORTILLAS ELABORADAS
A BASE DE HARINA DE MAÍZ FABRICADA
INDUSTRIALMENTE, EN TORTILLERÍAS DE LA
ZONA 15 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA.**

Silvia María Rivera Valdez

Química Farmacéutica

Guatemala, Noviembre de 2013

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a cross, surrounded by a wreath. The shield is set against a background of a globe. The Latin motto "SCIENTIA CONSPICUA CAROLINA ACCEPERIT" is inscribed around the perimeter of the seal.

**IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE
CALCIO Y HIERRO, COMO SUPLEMENTOS
NUTRICIONALES, EN TORTILLAS ELABORADAS
A BASE DE HARINA DE MAÍZ FABRICADA
INDUSTRIALMENTE, EN TORTILLERÍAS DE LA
ZONA 15 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA.**

Informe de Tesis

Presentado por

Silvia María Rivera Valdez

Para optar al título de

Química Farmacéutica

Guatemala, Noviembre de 2013

JUNTA DIRECTIVA

| | |
|--|------------|
| Oscar Manuel Cóbar Pinto, Ph.D. | Decano |
| Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto, M.A. | Secretario |
| Licda. Liliana Vides de Urizar | Vocal I |
| Dr. Sergio Alejandro Melgar Valladares | Vocal II |
| Lic. Rodrigo José Vargas Rosales | Vocal III |
| Br. Fayver Manuel de León Mayorga | Vocal IV |
| Br. Maily Graciela Córdova Audón | Vocal V |

DEDICATORIA

Acto que dedico:

A Dios y la Virgen María: Por su amor incondicional, por regalarme la vida y por ser los que guían cada uno de mis pasos.

A mis padres: Silvia y Daniel porque gracias a sus esfuerzos, paciencia, amor y consejos me han forjado como una mujer de bien y me han enseñado que para alcanzar las metas hay que trabajar a base de esfuerzos, gracias porque este triunfo es nuestro!!!

A mis hermanos: Lionel y Rita por sus consejos, amor y la felicidad que me han brindado a lo largo de mi vida.

A mi cuñada: Andrea gracias por todos tus consejos, paciencia y amor que me has dado.

A mis abuelitas: Lety por ser tan especial, cariñosa y por todo el amor que me has proporcionado siempre. Mildred por tus consejos y amor.

A mis abuelitos: Rene (Q.E.P.D.) y Lionel (Q.E.P.D.) que desde el cielo me cuidan.

A mi papá: Lionel, su esposa Margarita y mi hermana Andrea, por el amor y consejos brindados.

A mis amigos: En especial a Jenny, Angie, Rosario, Monica, Shirley, Lesly y Roberto gracias por todos los momentos compartidos, saben que ocupan un espacio muy importante en mi corazón, gracias por el cariño y amor que me han dado.

A todas aquellas personas y familiares que han hecho posible esta meta y han confiado en mí para realizarla!!!

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, en especial a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, por darme las herramientas necesarias para triunfar como una profesional.

A mi asesora: Licda. Julia García, por ayudarme a lograr esta meta.

A mi coasesor: Lic. Ricardo Véliz, por su paciencia, enseñanzas y cariño demostrado durante todo el proceso de la elaboración de esta investigación.

A mi revisora: Licda. Hada Alvarado, por su paciencia y revisión de esta investigación.

A Licda. Erika García: gracias por su paciencia, consejos y cariño brindado.

Al Laboratorio de Investigación Química y Ambiental (LIQA) y al Laboratorio de Análisis Aplicado: por permitirme realizar los análisis de esta investigación.

Y a todas aquellas personas que han hecho posible este logro!!!!

ÍNDICE

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 1. | RESUMEN | 1 |
| 2. | INTRODUCCIÓN | 3 |
| 3. | ANTECEDENTES | 5 |
| 3.1. | Minerales | 5 |
| 3.1.1. | Calcio | 5 |
| 3.1.2. | Hierro | 7 |
| 3.2. | El maíz | 11 |
| 3.2.1. | Origen del maíz | 11 |
| 3.2.2. | Tipos de maíz | 12 |
| 3.2.3. | Estructura del grano de maíz | 13 |
| 3.2.4. | Composición química de las partes del grano | 14 |
| 3.2.5. | Composición Química General | 17 |
| 3.3. | Tortilla | 23 |
| 3.3.1. | Características físicas de las tortillas | 26 |
| 3.3.2. | Características funcionales de las tortillas | 26 |
| 3.3.3. | Valor nutritivo de las tortillas | 27 |
| 3.3.4. | Cambios en el contenido de nutrientes en las tortillas | 27 |
| 3.3.5. | Biodisponibilidad de nutrientes en las tortillas | 30 |
| 3.4. | Proceso Industrial para elaboración de harina de maíz | 36 |
| 3.4.1. | Ingredientes | 36 |
| 3.4.2. | Elaboración de la masa | 40 |
| 3.4.3. | Elaboración de la harina | 44 |
| 3.5. | Otras tecnologías para elaborar harina de maíz | 45 |
| 3.6. | Proceso de fortificación con Hierro en harina de maíz fabricada industrialmente. | 49 |
| 3.6.1. | Principios para la adición de nutrientes a los alimentos: | 50 |
| 3.6.2. | Fortificación con hierro en América Latina | 51 |

| | |
|---|------------|
| 3.6.3. Tecnología para fortificar con hierro la harina de maíz fabricada industrialmente..... | 51 |
| 3.7. Enfermedades causadas por deficiencia de Calcio | 53 |
| 3.7.1. Osteoporosis | 53 |
| 3.7.2. Osteomalacia | 55 |
| 3.7.3. Raquitismo | 56 |
| 3.8. Enfermedades causadas por deficiencia de Hierro..... | 58 |
| 3.8.1. Anemia Ferropénica | 58 |
| 3.9. Otras investigaciones realizadas..... | 60 |
| 4. JUSTIFICACIÓN | 62 |
| 5. OBJETIVOS | 64 |
| 5.1. <i>Objetivo General</i> | 64 |
| 5.2. <i>Objetivos Específicos</i> | 64 |
| 6. HIPÓTESIS | 65 |
| 7. MATERIALES Y MÉTODOS | 66 |
| 7.1. Universo y Muestra..... | 66 |
| 7.2. Equipo, Reactivos, Materiales y Cristalería | 66 |
| 7.3. Método estadístico de recolección de muestra | 68 |
| 7.4. Análisis de la muestra | 68 |
| 7.5. Métodos de Laboratorio | 68 |
| 8. RESULTADOS | 75 |
| 9. DISCUSIÓN | 91 |
| 10. CONCLUSIONES | 95 |
| 11. RECOMENDACIONES | 96 |
| 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 97 |
| 13. ANEXOS | 100 |
| Anexo No. 1 “Valores nutricionales en tortillas según la Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica del INCAP” | 100 |
| Anexo No. 2 “Instrumento de registro de características físicas en la tortilla” | 101 |
| Anexo No. 3 “Tabla resumen de la concentración de Calcio durante los 4 muestreos en la Tortillería A” | 102 |

| | |
|--|-----|
| Anexo No. 4 “Tabla resumen de la concentración de Calcio durante los 4 muestreos en la Tortillería B” | 103 |
| Anexo No. 5 “Tabla resumen de la concentración de Calcio durante los 4 muestreos en la Tortillería C” | 104 |
| Anexo No. 6 “Tabla resumen de la concentración de Calcio durante los 4 muestreos en la Tortillería D” | 105 |
| Anexo No. 7 “Tabla resumen de la concentración de Calcio durante los 4 muestreos en la Tortillería E” | 106 |
| Anexo No. 8 “Tabla resumen de la concentración de Hierro durante los 4 muestreos en la Tortillería A” | 107 |
| Anexo No. 9 “Tabla resumen de la concentración de Hierro durante los 4 muestreos en la Tortillería B” | 108 |
| Anexo No. 10 “Tabla resumen de la concentración de Hierro durante los 4 muestreos en la Tortillería C” | 109 |
| Anexo No. 11 “Tabla resumen de la concentración de Hierro durante los 4 muestreos en la Tortillería D” | 110 |
| Anexo No. 12 “Tabla resumen de la concentración de Hierro durante los 4 muestreos en la Tortillería E” | 111 |
| Anexo No. 13 “Concentración de Calcio y Hierro en harina de maíz elaborada industrialmente de una marca comercial, en 3 diferentes lotes” | 112 |
| Anexo No. 14 “Curva de Calibración de Estándar de Calcio” | 113 |
| Anexo No. 15 “Curva de Calibración de Estándar de Hierro” | 114 |

1. RESUMEN

El maíz es el cereal básico en la alimentación de diversos sectores de la población, en países mesoamericanos, especialmente de Guatemala. La forma de consumo más frecuente del maíz es como tortilla, la cual es una fuente rica en vitaminas, minerales (como Calcio y Hierro), proteínas y calorías. Además, las tortillas también se pueden elaborar a partir de harina de maíz producida industrialmente, por las ventajas que presenta.

El siguiente informe presenta los resultados finales de la cuantificación de los elementos Calcio y Hierro, en las muestras de tortillas elaboradas con base de harina de maíz fabricada industrialmente, procedente de 5 tortillerías elegidas aleatoriamente de la zona 15 de la ciudad de Guatemala. Con el objetivo de verificar y comparar los valores experimentales con los valores de referencia especificados en la Tabla de Composición de Alimentos para Centroamérica, por el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), y confirmar el valor nutritivo de la tortilla con respecto a los minerales Calcio y Hierro, ya que este es un alimento de consumo masivo en la población guatemalteca.

El procedimiento consistió en: la colección de muestras de tortillas elaboradas con harina de maíz fabricada industrialmente en 5 tortillerías elegidas al azar; se determinó las características físicas, como peso y diámetro, el porcentaje de humedad (por medio del método gravimétrico); para la determinación de Calcio y Hierro, se realizó el tratamiento de la muestra, la cual consistió en el secado, trituración y digestión ácida asistida por microondas; y finalmente se determinó la concentración de Calcio y Hierro utilizando la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica de Flama. Posteriormente se compararon los valores experimentales con los valores de referencia.

Se concluye que: 1) no se encontró procedimiento homogéneo en la fabricación de las tortillas, ya que las características de peso y diámetro son diferentes entre cada una de las tortillerías evaluadas, ya que el proceso se realiza de forma artesanal. 2) A pesar de ello el porcentaje de humedad de las tortillas son similares en todas las muestras, al compararlas con el valor de referencia. 3) Del total de las muestras cuantificadas de Calcio el 13% presentan un valor superior que el valor de referencia. 4) De las muestras cuantificadas de Hierro, el 100% presentan valores superiores con respecto al valor de referencia.

2. INTRODUCCIÓN

El maíz ha sido y continúa siendo el cereal básico en la alimentación de grandes sectores de la población rural y urbana de varios países mesoamericanos, especialmente de Guatemala.

La forma de consumo más frecuente del maíz es como tortilla, la cual es una fuente rica en vitaminas, minerales (como calcio y hierro), proteínas y calorías. La elaboración de la tortilla requiere del proceso de “nixtamalización¹” de los granos de maíz, molienda para obtener la masa, torteado para dar forma y posterior cocción en una plancha o comal caliente.

Por otro lado, también se fabrica tortillas a partir de la harina de maíz nixtamalizada producida industrialmente, debido a las ventajas que presenta, la cual tiene una vida de anaquel de un año si se almacena en un lugar seco, y sólo es necesario agregarle agua para formar la masa.

Las tortillas son una fuente de calcio y de hierro, ya que el calcio se obtiene por medio de la nixtamalización del maíz, es decir, a través de la adición de cal, esto permite que se incremente la cantidad de calcio presente en la tortilla. Pero con el hierro es diferente, ya que su disponibilidad en el maíz es baja, entonces lo que se realiza es una fortificación con este mineral a la harina de maíz fabricada industrialmente y así se puede obtener una fuente rica en hierro.

Los minerales de calcio y hierro son importantes en la dieta ya que ayudan a evitar enfermedades como: osteoporosis, raquitismo, osteomalacia y anemia, por la deficiencia de los mismos. El tratamiento preventivo, por medio del consumo suficiente de calcio y hierro en una dieta balanceada, mediante el consumo diario de tortillas, es mucho mejor que el tratamiento curativo.

¹Nixtamalización: es el proceso en el cual el grano de maíz se cocina, remoja en cal y posteriormente se lava.

Además, la desnutrición en Guatemala cada vez es mayor (índice de desnutrición en el año 2002 es de 48.7 y en el año 2011 es de 49.8)², por ésta razón es importante verificar que las tortillas elaboradas a base de harina de maíz fabricada industrialmente, sean un alimento nutritivo y no que solamente sea un alimento de relleno, y de alguna manera disminuir los índices de desnutrición en el país.

Por lo tanto, se realizó este estudio para cuantificar los minerales de calcio y hierro, por medio de la Espectrofotometría de Absorción Atómica de Flama, y de esta manera verificar el valor experimental en las tortillas elaboradas a base de harina de maíz fabricada industrialmente, y evaluar si cumple con las especificaciones que indica la Tabla de Composición de Alimentos para Centroamérica, por el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), y de esta forma confirmar el valor nutritivo de la tortilla, ya que este es un alimento de consumo masivo en la población guatemalteca.

² Fuente: Informe de Desarrollo Humano – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2003 y 2009-2010. (IDH-PNUD 2003 y 2009-2010).

3. ANTECEDENTES

3.1. **Minerales**

3.1.1. **Calcio**

El calcio es el mineral más abundante en el cuerpo humano. Alrededor del 99% del calcio está en los huesos y dientes principalmente en forma de fosfato; el resto está en los fluidos extracelulares, estructuras intracelulares y membranas celulares. Participa en procesos metabólicos, tales como, la activación de enzimas, transmisión nerviosa, transporte a través de membranas, coagulación de la sangre, contracción de músculos y funciones hormonales (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

La formación de huesos es más intensa durante los períodos de crecimiento más activos, y la mineralización se acentúa durante la adolescencia. La absorción intestinal de calcio es más eficiente durante los períodos de mayor requerimiento del mineral. Así, los niños pueden absorber hasta 75% del calcio dietético, comparado con 20 – 40% en los adultos. La absorción de calcio es más eficiente durante el embarazo y la lactancia. La ingestión elevada de proteínas aumenta las pérdidas urinarias de calcio, mientras que un aumento en la ingestión de fósforo reduce la excreción urinaria de calcio (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

La leche y productos lácteos tienen una concentración alta de calcio. Otras fuentes alimentarias de este mineral incluyen la yema de huevo, las leguminosas de grano, varias verduras y hojas de color verde oscuro. Los cereales, en general tienen muy poco calcio, pero las

tortillas de maíz tratadas con cal son una importante fuente dietética del mineral en Centroamérica (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

El descortezado y la molienda de los granos leguminosos reducen su contenido de calcio. El tratamiento con cal que se le da al grano de maíz para ablandarlo y eliminar su cascarilla en la elaboración de masa hace que las tortillas y otros productos elaborados con esa masa tengan un alto contenido de calcio (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

La absorción de calcio se favorece por la presencia de vitamina D, proteínas y un medio ácido. En cambio los fitatos, oxalatos, fibra dietética y la grasa interfieren con la absorción de calcio, formando compuestos insolubles, particularmente en medio alcalino. Así, el calcio de la espinaca, hojas de rábano y remolacha se absorbe poco a pesar de ser relativamente abundante, por el alto contenido de oxalatos en esas hojas. Por el contrario, algunos cereales, como trigo y avena, contienen una fitasa que libera el calcio de los fitatos y lo hace más biodisponible (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

Las concentraciones bajas de calcio en la dieta son mejor absorbidas que las altas. Por ejemplo, entre 20 y 40% del calcio se absorbe cuando es ingerido por adultos en cantidades pequeñas, pero con ingestiones del orden de 800 mg/día, la absorción es de 15% (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

La siguiente Tabla presenta los requerimientos recomendados de calcio que necesita el organismo según edad y género, por día:

Tabla No.1 “Calcio requerido por día en la dieta”.

| Requerimientos recomendados de Calcio por día | |
|--|------------------------|
| Grupo de edad de vida | Calcio (mg/día) |
| Infantes | |
| 0 – 6 meses | 210 |
| 7 – 12 meses | 270 |
| Niños | |
| 1 – 3 años | 500 |
| 4 – 8 años | 800 |
| Hombres | |
| 9 – 13 años | 1300 |
| 14 – 18 años | 1300 |
| 19 – 30 años | 1000 |
| 31 – 50 años | 1000 |
| 51 – 70 años | 1200 |
| Mayor a 70 años | 1200 |
| Mujeres | |
| 9 – 13 años | 1300 |
| 14 – 18 años | 1300 |
| 19 – 30 años | 1000 |
| 31 – 50 años | 1000 |
| 51 – 70 años | 1200 |
| Mayor a 70 años | 1200 |
| Embarazo | |
| ≤ 18 años | 1300 |
| 19 – 30 años | 1000 |
| 31 – 50 años | 1000 |
| Lactancia | |
| ≤ 18 años | 1300 |
| 19 – 30 años | 1000 |
| 31 – 50 años | 1000 |

Fuente: Institute of Medicine - National Academy of Sciences, 2001.

3.1.2. Hierro

El hombre adulto contiene alrededor de 4 g de hierro, del cual dos tercios forman parte de la hemoglobina, cuya función primordial es el transporte de oxígeno. El hierro también forma parte de la mioglobina y citocromos, así como de diversos sistemas enzimáticos.

Normalmente, 20 – 30 % del mineral se encuentra almacenado en el hígado, bazo y médula ósea (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

La deficiencia de hierro es la principal causa de anemia nutricional en niños y adultos. Los grupos más vulnerables son los adolescentes, mujeres en edad reproductiva y las embarazadas (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

El hierro hemínico, derivados principalmente de la hemoglobina y mioglobina, es absorbido en una proporción mucho mayor que el hierro inorgánico y casi no es afectado por otros componentes de la dieta. En cambio, la absorción del hierro inorgánico es menor en presencia de sustancias como los fitatos, taninos y ciertos tipos de fibra dietética, que lo ligan o forman complejos insolubles. Por el contrario, su absorción es favorecida por el ácido ascórbico y las proteínas animales (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

Por otra parte, el hierro inorgánico se absorbe mejor cuando las reservas corporales son bajas, o cuando no es muy abundante en la dieta. Estas condiciones afectan muy poco la absorción del hierro hemínico (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

Los requerimientos fisiológicos de hierro se han calculado con base en la cantidad que se debe absorber para compensar las pérdidas corporales y para permitir el incremento del volumen sanguíneo durante el crecimiento y el embarazo (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

Las carnes rojas son la principal fuente de hierro hemínico, cuya absorción es influenciada muy poco por otros componentes de la

dieta y por el estado nutricional de la persona. El hierro no hemínico o inorgánico, se encuentra en leguminosas de grano, cereales, varias verduras y frutas. Para estimar la contribución del hierro inorgánico, es necesario conocer las características de la dieta y el estado nutricional del hierro del individuo, ya que la combinación de estas condiciones puede modificar la absorción del hierro dietético desde menos del 1 % hasta más de 30 %. También los alimentos fortificados o enriquecidos con hierro, son una de las principales fuentes alimentarias del mineral (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

El descortezado y molienda de granos, el refinamiento del azúcar y la extracción de aceites, pueden reducir el contenido de hierro hasta en 90 %. También se puede perder hierro de los alimentos cocinados con agua cuando se descarta el agua de cocción (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

La absorción del hierro hemínico usualmente no es afectada por las características de la dieta. Sin embargo, la cocción prolongada a alta temperatura puede desnaturalizar la molécula hemínica y reducir la absorción del mineral (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

La absorción de hierro no hemínico o inorgánico varía de menos de 1 % a más de 10 % en individuos con reservas adecuadas del mineral. El ácido ascórbico y otros ácidos orgánicos, el hierro hemínico, y los alimentos de origen animal, favorecen esta absorción cuando son ingeridos junto con el hierro inorgánico. El glutamato monosódico o el vinagre agregados a las harinas de trigo y de papa también aumentan la biodisponibilidad de hierro (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

Hay factores dietéticos que reducen la absorción del hierro no hemínico, como los fitatos y fibra de los cereales, leguminosas y otros vegetales; los taninos y otros polifenoles del té, café, caldo de frijol negro y otros alimentos vegetales; el fosfato de calcio y algunas proteínas como la avidina del huevo. Además el efecto inhibitorio puede ser contrarrestado por la presencia de ácido ascórbico o alimentos de origen animal en la dieta (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

La ingestión en altas cantidades de otros minerales, como calcio, magnesio, zinc, cobre, cobalto y magnesio, interfieren con la absorción del hierro inorgánico, pues compiten por los mismos mecanismos de absorción intestinal. Los medicamentos antiácidos también reducen la absorción del hierro (Torún, B., Menchú, M. & Elías, L., 1994).

La siguiente Tabla presenta los requerimientos recomendados de hierro que necesita el organismo según edad y género, por día:

Tabla No.2 “Hierro requerido por día en la dieta”.

| Requerimientos recomendados de Hierro por día | |
|--|------------------------|
| Grupo de edad de vida | Hierro (mg/día) |
| Infantes | |
| 0 – 6 meses | 0.27 |
| 7 – 12 meses | 11 |
| Niños | |
| 1 – 3 años | 7 |
| 4 – 8 años | 10 |
| Hombres | |
| 9 – 13 años | 8 |
| 14 – 18 años | 11 |
| 19 – 30 años | 8 |
| 31 – 50 años | 8 |
| 51 – 70 años | 8 |
| Mayor a 70 años | 8 |

| | |
|------------------|----|
| Mujeres | |
| 9 – 13 años | 8 |
| 14 – 18 años | 15 |
| 19 – 30 años | 18 |
| 31 – 50 años | 18 |
| 51 – 70 años | 8 |
| Mayor a 70 años | 8 |
| Embarazo | |
| ≤ 18 años | 27 |
| 19 – 30 años | 27 |
| 31 – 50 años | 27 |
| Lactancia | |
| ≤ 18 años | 10 |
| 19 – 30 años | 9 |
| 31 – 50 años | 9 |

Fuente: Institute of Medicine - National Academy of Sciences, 2001.

3.2. El maíz

3.2.1. Origen del maíz

El cultivo del maíz tuvo su origen, con toda probabilidad, en América Central, especialmente en México, de donde se difundió hacia el norte hasta el Canadá y hacia el sur hasta la Argentina. La evidencia más antigua de la existencia del maíz, de unos 7 000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el valle de Tehuacán (México) pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América. Este cereal era un artículo esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; ambos pueblos incluso afirmaban que la carne y la sangre estaban formadas por maíz. La supervivencia del maíz más antiguo y su difusión se debió a los seres humanos, quienes recogieron las semillas para posteriormente plantarlas. A finales del siglo XV, tras el descubrimiento del continente americano por Cristóbal Colón, el

grano fue introducido en Europa a través de España. Se difundió entonces por los lugares de clima más cálido del Mediterráneo y posteriormente a Europa septentrional. Mangelsdorf y Reeves (1939) han hecho notar que el maíz se cultiva en todas las regiones del mundo aptas para actividades agrícolas y que se recoge en algún lugar del planeta todos los meses del año (FAO, 1993).

Pese a la gran diversidad de sus formas, al parecer todos los tipos principales de maíz conocidos hoy en día, clasificados como *Zea mays*, eran cultivados ya por las poblaciones autóctonas cuando se descubrió el continente americano. Por otro lado, los indicios recogidos mediante estudios de botánica, genética y citología apuntan a un antecesor común de todos los tipos existentes de maíz. La mayoría de los investigadores creen que este cereal se desarrolló a partir del teosinte, *Euchlaena mexicana* Schrod, cultivo anual que posiblemente sea el más cercano al maíz. Otros creen, en cambio, que se originó a partir de un maíz silvestre, hoy en día desaparecido (FAO, 1993).

3.2.2. Tipos de maíz

Maíz, palabra de origen indio caribeño, significa literalmente «lo que sustenta la vida». El maíz, que es junto con el trigo y el arroz uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales y es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se producen almidón, aceite y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y, desde hace poco, combustible (FAO, 1993).

Botánicamente, el maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual alta dotada de un amplio sistema radicular fibroso. Se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada y la flor femenina (elote, mazorca, choclo o espiga) y la masculina (espiguilla) se hallan en distintos lugares de la planta. Las panojas -a menudo, una por tallo- son las estructuras donde se desarrolla el grano, en un número variable de hileras (12 a 16), produciendo de 300 a 1 000 granos. El peso depende de las distintas prácticas genéticas, ambientales y de cultivo. El grano constituye aproximadamente el 42 por ciento del peso en seco de la planta. El maíz es a menudo de color blanco o amarillo, aunque también hay variedades de color negro, rojo y jaspeado. Hay varios tipos de granos que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en él (FAO, 1993).

Las variedades cultivadas fundamentalmente para alimentación comprenden el maíz dulce y el reventador, aunque también se usan en buena medida el maíz dentado, el amiláceo o harinoso y el cristalino. El maíz normal inmaduro en la panoja es objeto de gran consumo, hervido o tostado. El maíz harinoso es un grano con endospermo blando que se emplea mucho como alimento en México, Guatemala y los países andinos. El maíz de tipo dentado tiene un endospermo calloso y vítreo a los lados y en la parte posterior del grano, en tanto que el núcleo central es blando. El maíz de tipo cristalino posee un endospermo grueso, duro y vítreo, que encierra un centro pequeño, granuloso y amiláceo (FAO, 1993).

3.2.3. Estructura del grano de maíz

Los granos de maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el

metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga. Esta estructura puede contener de 300 a 1 000 granos según el número de hileras y el diámetro y longitud de la mazorca. El peso del grano puede variar mucho, de aproximadamente 19 a 30 g por cada 100 granos. Durante la recolección, las panojas de maíz son arrancadas manual o mecánicamente de la planta. Se pelan las brácteas que envuelven la mazorca y luego se separan los granos a mano o, más a menudo, mecánicamente (FAO, 1993).

La distribución ponderal de las distintas partes del grano se indica en la Tabla No. 3. Al endospermo, la parte de mayor tamaño, corresponde cerca del 83 por ciento del peso del grano, en tanto que el germen equivale por término medio al 11 por ciento y el pericarpio al 5 por ciento. El resto está constituido por la piloriza, estructura cónica que junto con el pedicelo une el grano a la espiga (FAO, 1993).

Tabla No.3“Distribución ponderal de las principales partes del grano”

| Estructura | Porcentaje de distribución ponderal |
|------------|-------------------------------------|
| Pericarpio | 5-6 |
| Aleurona | 2-3 |
| Endospermo | 80-85 |
| Germen | 10-12 |

Fuente: FAO, 1993.

3.2.4. Composición química de las partes del grano

Las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química, según lo indica la Tabla No.2. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido

de fibra cruda, aproximadamente el 87 por ciento, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 por ciento), celulosa (23 por ciento) y lignina (0,1 por ciento) (Burga y Duensing, 1989). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 por ciento), aproximadamente 8 por ciento de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo (FAO, 1993).

Tabla No.4 “Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%)”

| Componente Químico | Pericarpio | Endospermo | Germen |
|--------------------|------------|------------|--------|
| Proteínas | 3.7 | 8.0 | 18.4 |
| Extracto Etéreo | 1.0 | 0.8 | 33.2 |
| Fibra Cruda | 86.7 | 2.7 | 8.8 |
| Cenizas | 0.8 | 0.3 | 10.5 |
| Almidón | 7.3 | 87.6 | 8.3 |
| Azúcar | 0.34 | 0.62 | 10.8 |

Fuente: Watson, 1987.

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33 por ciento por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20 por ciento) y minerales. Se dispone de algunos datos sobre la composición química de la capa de aleurona, elemento con un contenido relativamente elevado de proteínas (aproximadamente el 19 por ciento) y de fibra cruda. La distribución del nitrógeno en el grano de maíz, donde el endospermo aporta la mayor parte, seguido por el germen y, en último lugar, por la cubierta seminal, que presenta sólo cantidades reducidas, mientras que en el teosinte cerca del 92 por ciento de las proteínas proceden del endospermo (FAO, 1993).

El contenido de hidratos de carbono y proteínas de los granos de maíz depende en medida considerable del endospermo; el de grasas

crudas y, en menor medida, proteínas y minerales, del germen. La fibra cruda del grano se encuentra fundamentalmente en la cubierta seminal. La distribución ponderal de las partes del grano, su composición química concreta y su valor nutritivo tienen gran importancia cuando se procesa el maíz para consumo; a este respecto, hay dos cuestiones de importancia desde la perspectiva nutricional: el contenido de ácidos grasos y el de proteínas (FAO, 1993).

El aceite de germen suministra niveles relativamente elevados de ácidos grasos (Bressani et al., 1990; Wéber, 1987); cuando se dan ingestas elevadas de maíz, como sucede en determinadas poblaciones, quienes consumen el grano degerminado obtendrán menos ácidos grasos que quienes comen el maíz entero elaborado. Esta diferencia tiene probablemente igual importancia en lo que se refiere a las proteínas, dado que el contenido de aminoácidos de las proteínas del germen difiere radicalmente del de las proteínas del endospermo. Por otro lado, el endospermo representa del 70 al 86 por ciento del peso del grano, y el germen del 7 al 22 por ciento. Así pues, si se analiza todo el grano, el contenido de aminoácidos esenciales refleja el contenido de aminoácidos de las proteínas del endospermo, pese a que la configuración de éstos en el caso del germen es más elevada y mejor equilibrada. No obstante, las proteínas del germen proporcionan una cantidad relativamente alta de determinados aminoácidos, aunque no suficiente para elevar la calidad de las proteínas de todo el grano. El germen aporta pequeñas cantidades de lisina y triptofano, los dos aminoácidos esenciales limitantes en las proteínas del maíz. Las proteínas del endospermo tienen un bajo contenido de lisina y triptofano, al igual que las proteínas de todo el grano (FAO, 1993).

3.2.5. Composición Química General

La información de que se dispone sobre la composición química general del maíz es abundante y permite conocer que la variabilidad de cada uno de sus principales nutrientes es muy amplia, según lo indica la Tabla No.5 (FAO, 1993).

Tabla No.5 “Proteínas netas del grano entero, el germen y el endospermo de variedades de maíz guatemaltecos (En porcentaje de caseína al 100%)”

| Muestra | Amarillo | Azotea | Cuarenteño | Opaco-2 |
|--------------|----------|--------|------------|---------|
| Grano entero | 42,5 | 44,3 | 65,4 | 81,4 |
| Germen | 65,7 | 80,4 | 90,6 | 85,0 |
| Endospermo | 40,9 | 42,0 | 46,4 | 77,0 |

Fuente: Poey et al. 1979.

3.2.5.1. Almidón

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73 por ciento del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3 por ciento del grano (FAO, 1993).

3.2.5.2. Proteínas

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 por ciento del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Las proteínas de los granos del maíz han sido estudiadas ampliamente, y

según Landry y Moureaux (1970; 1982), están formadas por lo menos por cinco fracciones distintas. Conforme a su descripción, las albúminas, las globulinas y el nitrógeno no proteico totalizan aproximadamente el 8 por ciento del total de nitrógeno, con proporciones del 7 por ciento, 5 por ciento y 6 por ciento, respectivamente. Normalmente, una porción reducida, cerca del 5 por ciento, está constituida por nitrógeno residual (FAO, 1993).

3.2.5.3. **Aceites y Ácidos Grasos**

El aceite del grano de maíz está fundamentalmente en el germen y viene determinado genéticamente, con valores que van del 3 al 18 por ciento. La composición media de ácidos grasos del aceite de variedades seleccionadas de Guatemala se indica en el Tabla No.6. Dichos valores difieren en alguna medida, y cabe suponer que los aceites de distintas variedades tengan composiciones diferentes. El aceite de maíz tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: ácido palmítico y esteárico, con valores medios del 11 por ciento y el 2 por ciento, respectivamente. En cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poliinsaturados, fundamentalmente ácido linoleico, con un valor medio de cerca del 24 por ciento (FAO, 1993).

Tabla No.6 “Contenido de ácidos grasos del aceite de diversas variedades de maíz guatemalteco y MPC Nutricia (%)”

| Variedad de maíz | C16:0 Palmitico | C18:0 Estearico | C18:1 Oleico | C18:2 Linoleico | C18:3 Linolenico |
|------------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| MPC Nutricia | 15,71 | 3,12 | 36,45 | 43,83 | 0,42 |
| Azotea | 12,89 | 2,62 | 35,63 | 48,85 | — |
| Xetzac | 11,75 | 3,54 | 40,07 | 44,65 | — |
| Blanco tropical | 15,49 | 2,40 | 34,64 | 47,47 | — |
| Santa Apolonia | 11,45 | 3,12 | 38,02 | 47,44 | — |

Fuente: Bressani et al., 1990.

3.2.5.4. Fibra Dietética

Después de los hidratos de carbono (principalmente almidón), las proteínas y las grasas, la fibra dietética es el componente químico del maíz que se halla en cantidades mayores. Los hidratos de carbono complejos del grano de maíz se encuentran en el pericarpio y la pilorriza, aunque también en las paredes celulares del endospermo y, en menor medida, en las del germen. El contenido de fibra dietética de los granos descascarados será evidentemente menor que el de los granos enteros (FAO, 1993).

3.2.5.5. Otros Hidratos de Carbono

El grano maduro contiene pequeñas cantidades de otros hidratos de carbono, además de almidón. El total de azúcares del grano varía entre el 1 y el 3 por ciento, y la sucrosa, el elemento más importante, se halla esencialmente en el

germen. En los granos en vías de maduración hay niveles más elevados de monosacáridos, disacáridos y trisacáridos. Conforme madura el grano, disminuyen los azúcares y aumenta el almidón (FAO, 1993).

3.2.5.6. **Minerales**

La concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente del 1,3 por ciento, sólo ligeramente menor que el contenido de fibra cruda. El contenido de minerales de algunas muestras de Guatemala se indica en la Tabla No.7. Los factores ambientales influyen probablemente en dicho contenido. El germen es relativamente rico en minerales, con un valor medio del 11 por ciento, frente a menos del 1 por ciento en el endospermo. El germen proporciona cerca del 78 por ciento de todos los minerales del grano. El mineral que más abunda es el fósforo, en forma de fitato de potasio y magnesio, encontrándose en su totalidad en el embrión con valores de aproximadamente 0,90 por ciento en el maíz común y cerca del 0,92 por ciento en el maíz opaco-2. Como sucede con la mayoría de los granos de cereal, el maíz tiene un bajo contenido de Ca y de oligoelementos (FAO, 1993).

Tabla No.7 “Contenido de minerales del maíz (promedio de cinco muestras)”

| Mineral | Concentración (mg/100 g) |
|-----------|--------------------------|
| P | 299,6 ± 57,8 |
| K | 324,8 ± 33,9 |
| Ca | 48,3 ± 12,3 |
| Mg | 107,9 ± 9,4 |

| | |
|-----------|------------------|
| Na | 59,2 ± 4,1 |
| Fe | 4,8 ± 1,9 |
| Cu | 1,3 ± 0,2 |
| Mn | 1,0 ± 0,2 |
| Zn | 4,6 ± 1,2 |

Fuente: Bressani, Breuner y Ortiz, 1 1989.

3.2.5.7. Vitaminas Liposolubles

El grano de maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, la provitamina A, o carotenoide, y la vitamina E. Los carotenoides se hallan sobre todo en el maíz amarillo, en cantidades que pueden ser reguladas genéticamente, en tanto que el maíz blanco tiene un escaso o nulo contenido de ellos. La mayoría de los carotenoides se encuentran en el endospermo duro del grano y únicamente pequeñas cantidades en el germen. El beta-caroteno es una fuente importante de vitamina A, aunque no totalmente aprovechada pues los seres humanos no consumen tanto maíz amarillo como maíz blanco. La proporción de vitamina A variaba de 1,5 a 2,6 µg/g. Los carotenoides del maíz amarillo pueden destruirse durante el almacenamiento; Watson (1962) encontró en el maíz recién cosechado valores de 4,8 mg/kg, que al cabo de 36 meses de almacenamiento habían disminuido a 1,0 mg/kg. Lo mismo sucedió con las xantofilas. Según estudios recientes, si se mejora la calidad proteínica del maíz aumenta la transformación de beta-caroteno en vitamina A (FAO, 1993).

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

tocopherol-gamma es probablemente más activo como antioxidante (FAO, 1993).

3.2.5.8. Vitaminas Hidrosolubles

Las vitaminas solubles en agua se encuentran sobre todo en la capa de aleurona del grano de maíz, y en menor medida en el germen y el endospermo. Se han encontrado cantidades variables de tiamina y riboflavina en el grano del maíz; su contenido está determinado en mayor medida por el medio ambiente y las prácticas de cultivo que por la estructura genética, aunque se han encontrado diferencias en el contenido de estas vitaminas entre las distintas variedades. La vitamina soluble en agua a la cual se han dedicado más investigaciones es el ácido nicotínico, a causa de su asociación con la deficiencia de niacina, o pelagra, fenómeno muy difundido en las poblaciones que consumen grandes cantidades de maíz (Christianson et al., 1968). Al igual que sucede con otras vitaminas, el contenido de niacina es distinto según las variedades, con valores medios de aproximadamente 20 µg/g (FAO, 1993).

El maíz no tiene vitamina B12 y el grano maduro contiene sólo pequeñas cantidades -en caso de que las haya- de ácido ascórbico. Yen, Jensen y Baker (1976) hallaron un contenido de aproximadamente 2,69 mg/kg de piridoxina asimilable. Otras vitaminas, como la colina, el ácido fólico y el ácido pantoténico, se encuentran en concentraciones pequeñísimas (FAO, 1993).

3.3. Tortilla

La tortilla es el producto plano, delgado y característicamente redondo elaborado a partir de masa del grano de maíz nixtamalizado o de harina de maíz nixtamalizado (Aldana, 2005).

El estudio de Rodríguez *et.al.*, describe las tortillas como productos elaborados a partir de 30 g de masa fresca, moldeada en discos y cocinadas en una plancha caliente a 290 °C por 30 segundos en un lado y por 40 segundos por el otro lado, luego “volteadas” nuevamente hasta la formación de ampolla (Aldana, 2005).

En el estudio de Cortéz Wild-Altamirano, las tortillas se describen como productos elaborados a partir de 35 g de masa, formando un disco delgado, cocido sobre una superficie caliente durante 15 segundos formando lo que se llama derecho de la tortilla, al voltear se cocina por el reverso durante 30 segundos, nuevamente se le da la vuelta y se deja en contacto con el comal otros 15 segundos para formar la ampolla de la tortilla que indica el fin de la elaboración (Aldana, 2005).

En el procedimiento descrito por Bressani, se indica que la porción de masa es moldeada en forma plana, se cuece aproximadamente por 5 minutos en un plato plano llamado “comal”, el cual alcanza una temperatura que varía entre 180 y 250 °C (Aldana, 2005).

Cuando se transforma el maíz en tortilla, el grano generalmente se limpia con un lavado con agua, y luego se adiciona agua en una proporción de 1.5 partes por una parte del grano. Al mismo tiempo se agrega hidróxido de calcio en una cantidad que varía entre 0.4 y 1.3%, con respecto al peso del maíz. El pH aumenta hasta 9.5. Después de mezclarlo, el maíz se cocina de 40 a 60 minutos, llevándolo hasta ebullición y luego se deja enfriar.

Después de 14 a 16 horas, el maíz cocido se lava varias veces con agua, para eliminar el pericarpio y el hidróxido de calcio. El producto que resulta se conoce como "nixtamal". La mayor parte de las veces está completamente sin pericarpio y sin la fracción oscura de la base del grano (Bressani R. , 1995).

El maíz así cocido se convierte en una masa fina, de la cual luego se toma entre 50 y 60 g para transformar en una torta delgada que se coloca sobre una superficie caliente (180 a 210 °C), durante un total de 5-6 minutos, para ambos lados. Durante esta cocción se pierde agua como vapor, lo cual causa que una delgada capa se separe del resto del material que forma la tortilla (Bressani R. , 1995).

La fabricación de harina instantánea para tortillas se hace comercialmente a partir de maíz entero y requiere un alto control de las condiciones de maceración, tratamiento con el álcali; proceso de molienda, proceso de secado, zarandeado y otras operaciones bajo las cuales se realiza el proceso para obtener un producto similar al preparado a nivel casero. En sí, la base del proceso industrial es el método empleado tradicionalmente en las áreas rurales, sin embargo, la variabilidad del nivel de cal agregado al maíz que se presenta en el método casero no se da a nivel industrial. El nivel utilizado se ha estandarizado al 1% del peso del grano; y el tiempo de remojo (12-14hrs), por factores de tiempo y costo, no se aplica (Urizar, 1995).

Inicialmente, el maíz empleado en el proceso es seleccionado de acuerdo a diversos factores principales que son: porcentaje de granos defectuosos en el lote, tipo y calidad del maíz, y cantidad de humedad presente en el grano. Si la humedad del grano es muy alta, ésta puede y debe acondicionarse por un secado de aire caliente con el fin de bajar la humedad del grano a un 12 a 15%. Una vez escogido el grano, éste es

limpiado por tamizaje, separándose las partículas gruesas de las finas y eliminando así las impurezas presentes. El maíz es almacenado en silos que están comunicados con las unidades de tratamiento alcalino (Urizar, 1995).

Ya en la fabricación de la harina, el paso inicial es el cocimiento del maíz en agua alcalina por un proceso continuo o de batch. En esta operación, el vapor saturado es el medio de calentamiento del depósito y el maíz seco se adiciona al agua en una proporción de 1:2 y la cal se adiciona en polvo al 1% en relación al peso del maíz y se utiliza como preservante dióxido de azufre (0.12-0.20%). Una vez cocido y macerado, el nixtamal se lava con agua a presión para eliminar el exceso de cal, el pericarpio y parte del germen. Se realiza luego una molienda húmeda en un molino de atracción, de discos y martillos, para obtener una masa suave y pastosa que sale de los molinos para ser secada y obtener una harina de partículas relativamente gruesas. Dicha harina se alimenta de diversas zarandas con el objeto de separar las partículas finas de las gruesas. Estas últimas son molidas de nuevo, de tal forma obtener una harina fina, de partículas uniformes y secas, que para su comercialización y preservación se empaqueta en bolsas de papel. La harina no debe empacarse a temperaturas altas para evitar problemas de rancidez (Urizar, 1995).

Finalmente, el producto obtenido del proceso de nixtamalización industrial es un polvo amarillento o blanco, con una distribución de partículas finas (250 μm , partículas pasan el mesh 60), seco y de sabor y aroma característico a masa de maíz; y que al hidratarse con agua provee una masa suave y adecuada para la elaboración de las tortillas; las cuales deben ser de características organolépticas similares a las tortillas obtenidas de la nixtamalización tradicional. Asimismo, la harina debe tener una humedad final de aproximadamente un 10-12% para evitar deterioro

por microorganismos y cumplir con ciertos requisitos fisicoquímicos que establecen su calidad (Urizar, 1995).

3.3.1. Características físicas de las tortillas

Según Bressani, las características físicas como diámetro y grosor de las tortillas son determinadas por las familias productoras, sin embargo se pueden encontrar en la literatura algunos valores como los siguientes: grosor de 4 a 7 mm, diámetro de 100 a 130 mm y peso de 13 y 35 g (Aldana, 2005; Bressani R. , 1995).

Estudios realizados por Cortéz y Wild-Altamirano y Rodríguez, han obtenido valores similares, grosor de 2 mm y 100 mm de diámetro (Aldana, 2005).

3.3.2. Características funcionales de las tortillas

Según Cortéz y Wild-Altamirano, las características funcionales que pueden ser evaluados en la tortilla son la plasticidad o grado de cohesión, que es la resistencia a la ruptura al someterse a un estiramiento; la suavidad, que es la resistencia de la tortilla a una presión ejercida sobre su superficie, la tesura que es la falta de asperezas en la superficie, la prueba de doblado, que es la presencia o ausencia de grietas en la superficie de la tortilla después de haber sido enrollada, la prueba de inflado, que es la medición del espacio ocupado por la ampolla formada en la última fase de elaboración de la tortilla, y prueba de sabor y olor (Aldana, 2005).

En un estudio similar elaborado en Guatemala por Bressani y Sinibaldi, se elaboraron tortillas a partir de once variedades de maíz cultivadas en la costa suroccidental de Guatemala y se determinaron

algunas características funcionales como lo fueron la roabilidad, la formación de bolsa, estructura de la orilla y prueba de preferencia por evaluación sensorial. Las diferentes variedades evaluadas presentaron diferente comportamiento en cada prueba, sin embargo las variedades que presentaron mejores resultados en las pruebas realizadas fueron A-775, P-3086 y HS-5G (Aldana, 2005).

3.3.3. Valor nutritivo de las tortillas

El valor nutritivo de la tortilla está determinado por los ingredientes utilizados y el proceso aplicado para su elaboración, debido a esto, varía de un hogar a otro por las diferencias que se presentan en el proceso (Aldana, 2005).

A pesar de las pérdidas que sufren diferentes fracciones del grano durante el proceso de nixtamalización, el valor nutritivo de la tortilla es superior al de cualquier otro cereal que ha sufrido un proceso de elaboración para ser consumido, ya que las pérdidas del grano se limitan al pericarpio (Aldana, 2005; Bressani R. , 1995).

3.3.4. Cambios en el contenido de nutrientes en las tortillas

El proceso de cocción alcalina conlleva una serie de variaciones que se presentan en el producto, tanto a nivel físico como químico. El maíz utilizado como materia prima, las operaciones unitarias en el proceso, así como los parámetros involucrados en cada una (temperatura, tiempos, nivel de cal, y agua empleados), son factores que influyen significativamente en las transformaciones y cambios producidos por la nixtamalización. Bressani, señala que los componentes químicos del maíz durante la preparación de la tortilla se pierden de dos formas: por pérdidas físicas de ciertos compuestos

y por pérdidas químicas que se dan por destrucciones o transformaciones (Urizar, 1995; Bressani, Paz, & Scrimshaw, Corn nutrient losses, chemical changes in corn during preparation of tortillas, 1958).

A nivel tradicional, existe mayor variabilidad en el cambio de nutrientes durante el proceso, dado que los parámetros de cocción, remojo y nivel de cal empleado oscilan en un mayor rango, ya que estos dependen de cada comunidad, familia o persona que lo realiza, mientras que en el área industrial los parámetros mencionados son controlados para obtener un producto lo más homogéneo posible (Urizar, 1995).

En general, ambos procesos de nixtamalización producen pérdidas físicas entre un 8-17 a un 25% con base del maíz procesado. Estas pérdidas se deben principalmente a los procesos de lixiviación, cocción, maceración y alcalinidad del medio. En un inicio se eliminan fracciones del grano como es la cáscara (pericarpio), la punta y parte de la capa aleurona. Luego ocurre un reblandecimiento del grano y se pierde parte del germen, la mayoría se retiene pero todos los solubles son removidos de éste (Inglett). El agua de lavado posee un porcentaje de sólidos, que están en una parte (35-45%) constituidos de proteína (Desrosier). En sí, la celulosa presente en la capa de la semilla se hidroliza y destruye casi por completo, por lo que, constituyentes del maíz como la fibra cruda, compuestos nitrogenados de bajo peso molecular, extracto etéreo (grasa cruda), azúcares libres y cierto porcentaje de almidón se pierden en cantidades significativas (Urizar, 1995; FAO, 1993).

Lo anterior se asocia porque dichos componentes del grano se encuentran primordialmente en las partes físicas que se hidrolizan

por el medio alcalino y las condiciones del proceso y que luego son lixiviadas por el agua. Por lo tanto la remoción casi total de éstas lleva a una pérdida significativa de ciertos nutrientes en el producto final (Urizar, 1995).

En el contenido proteico existe un mejoramiento leve en la calidad, se reporta un pequeño aumento en el contenido de nitrógeno, dado el aumento de la fracción insoluble; sin embargo, ocurren pérdidas de ciertos aminoácidos, considerándose principalmente el triptófeno y lisina. Incluso, existen mínimas cantidades del complejo lisino-alanina. Estudios realizados por varios autores muestran que se obtiene un mejoramiento en cuanto al incremento proteico cuando se utiliza en el proceso de nixtamalización, granos de alta calidad proteica, como el QPM (qualityproteinmaize) o el maíz opaco 2; o bien si se suplementan con proteínas de alto contenido de lisina y triptófano (soya). Otro aspecto que señala Rooney es que el cocimiento con cal altera los parámetros de solubilidad de las proteínas. La nixtamalización y la cocción para obtener las tortillas reducen las proteínas solubles en sal y agua (albúminas y globulinas) y las solubles en alcohol (prolaminas) e incrementan la cantidad de proteínas inestables (Urizar, 1995; FAO, 1993).

Otras pérdidas que se manifiestan en el proceso de nixtamalización es en las vitaminas. Bressani indica que existe aproximadamente un 30-50% de pérdida en las vitaminas del complejo B y de carotenos, cuando el maíz utilizado es amarillo. Además se pierde cantidades significativas de fibra cruda y extracto etéreo. Sin embargo, existe una mayor disponibilidad de niacina en el maíz procesado, que en el crudo (Urizar, 1995; Bressani R. , 1995).

Finalmente, el uso de cal para la cocción alcalina marca un incremento esperado en el contenido de cenizas en la tortilla respecto del contenido en el maíz. Este aumento, naturalmente se ve influenciado por el nivel de cal agregado y por el tiempo de remojo y por la calidad del lavado. El contenido de minerales estará determinado por la pureza de la cal, el incremento en el contenido de calcio es altamente significativo. De igual forma, aumenta el radio calcio-fósforo. Estudios realizados por Serna indican que dicho radio es de cero en el grano y de 0.51 en la tortilla. Así mismo, Bressani expresa en el maíz dicho radio es de 1 a 20; mientras que en la tortilla es de 1 a 1. Por otro lado Serna indica que el proceso no afecta significativamente los contenidos de Mg, Zn y Cu. Aún así, otros estudios reportan aumentos significativos (Bressani, Saldana); el contenido de magnesio aumenta de un 8-35% y tanto el hierro como el fósforo incrementan su biodisponibilidad (Urizar, 1995).

Estudios sobre el aumento de hierro y otros minerales durante el proceso de nixtamalización no han sido conducidos con mayor profundidad, por lo que variantes en el proceso o en los parámetros pueden tener una alta repercusión en su aumento y disponibilidad (Urizar, 1995).

3.3.5. Biodisponibilidad de nutrientes en las tortillas

Como se ha indicado anteriormente, el proceso de nixtamalización conlleva a una serie de pérdidas fisicoquímicas, principalmente a nivel nutricional; sin embargo el proceso también favorece la biodisponibilidad de otros componentes requeridos por el organismo humano y que en el maíz, como grano crudo, no están totalmente a su alcance (Urizar, 1995).

3.3.5.1. Calcio

En el maíz crudo el contenido de calcio en relación a las necesidades diarias es escaso y su disponibilidad para ser absorbido es relativamente bajo. El procesamiento alcalino para convertir el maíz a tortilla aumenta significativamente el contenido de calcio (Saldana; Serna), hasta aproximadamente un 400% y según estudios realizados un 85% de dicho calcio es absorbible. Serna señala que el consumo de tortilla en México y Centroamérica se estima en 120 kg per capita por año y que los adultos que consumen estas cantidades, aproximadamente un 37%, satisfacen sus requerimientos totales de calcio. A diferencia, aquellos que no consumen tortillas nixtamalizadas satisfacen menos del 1% de lo requerido (Urizar, 1995; FAO, 1993).

La cal adicionada penetra en el grano principalmente a través del germen, el cual es la parte anatómica que contiene mayor cantidad de calcio después de la cocción y el remojo, se mejora el radio calcio –fósforo, y la razón calcio-potasio aumenta de 1:32 en el grano de maíz a 1:2 en la masa. La biodisponibilidad de calcio incrementa aún más si el maíz tratado ha sido suplementado con los aminoácidos limitantes, lisina y triptófano, o bien si se ha utilizado un maíz de mejor calidad proteica, dado que estos aumentan la absorción y retención de calcio (Urizar, 1995; FAO, 1993).

La cantidad de calcio presente en la tortilla estará, por tanto, determinado por varios factores del proceso. Saldana señala que un bajo contenido de calcio en la tortilla se relaciona

directamente con un lavado cuidadoso y completo del nixtamal luego de la cocción en la solución alcalina, sin embargo el aumento sí es significativo (Urizar, 1995; FAO, 1993).

Las tortillas son un producto relativamente bueno y una fuente barata de calcio, principalmente para las personas que dependen de ésta como si primordial alimento (Urizar, 1995).

3.3.5.2. **Niacina**

La nixtamalización promueve la mayor biodisponibilidad de la niacina, dado que el enlace del ácido nicotínico es liberado durante el tratamiento térmico alcalino. Esto es un factor significativo en nutrición, ya que al estar la niacina biodisponible y existir un balance entre los aminoácidos esenciales, un radio favorable entre isoleucina y leucina, la probabilidad de existencia de pelagra en la población que consume maíz nixtamalizado es mínima. Estudios han demostrado que el desarrollo de pelagra en los consumidores de tortillas en México y Guatemala son casi totalmente desconocidos (Urizar, 1995; FAO, 1993).

Un estudio comparativo realizado por Saldana en tortillas de maíz, tortillas de harina y pan, se observó que el incremento de niacina respecto del grano de maíz era significativo. Las tortillas de maíz (proceso tradicional) poseen un contenido de niacina menor al contenido en las tortillas de harina de maíz y el contenido en el pan; sin embargo el contenido en las tortillas hechas de harina de maíz sí es mayor al contenido de niacina en el pan. Otro aspecto que señala Saldana, es que un pH del

nixtamal de 7.3 o menos aumenta la retención de tiamina, riboflavina y niacina en la tortilla de maíz (Urizar, 1995).

3.3.5.3. **Fibra Dietética**

En la etapa de obtención de la masa, la fibra dietética total disminuye (TDF), pero luego en las tortillas aumenta a niveles levemente inferiores a los encontrados en el maíz crudo. Tanto las tortillas como snacks de masa nixtamalizada poseen niveles altos de fibra dietética (DF). Varios autores muestran porcentajes altos de DF en éstos, Bressani señala que los niveles de TDF en la tortilla son aproximadamente un 10% sobre base seca; Watson señala que los valores altos de DF en productos de masa nixtamalizada pueden ser el resultado de cambios en las proteínas, los cuales producen polímeros complejos durante la cocción que hacen sobresalir la fibra dietética. Un alto contenido de fibra puede ser un factor adverso en las tortillas, ya que éste se ha visto en diversos estudios, y es un factor que afecta la disponibilidad del hierro, así como afectar otros minerales. Sin embargo, existe un incremento en el hierro disponible y han de conducirse otros estudios dado que aún existe controversia en la forma como la inhibición puede llevarse a cabo y los efectos que la alcalinidad puede tener. Se ha sugerido y atribuido el efecto antagónico al ácido fítico presente en el grano, sin embargo puede presentarse una inhibición o saturación de éste durante el proceso (Urizar, 1995).

3.3.5.4. Hierro

El contenido de hierro en el grano de maíz está en un rango de 0.001 a 0.02 %, siendo el promedio porcentual de 0.003. Varios autores señalan que la absorción de hierro a partir de cereales y de ciertas preparaciones es frecuentemente baja aun cuando su contenido de hierro es usualmente alto; menos de un 2% en personas saludables y menos de un 5% en personas deficientes en hierro y en general, la absorción de hierro a partir del maíz es menor que aquella a partir de cualquier otro cereal. El hierro del trigo y maíz está menos accesible cuando éste se encuentra en productos hechos a base de harinas finamente molidas y con alto contenido de afrecho. La baja disponibilidad se atribuye al alto contenido de fibra dietética y fitato que se encuentran presentes, y que se consideran en cierto caso factores inhibitorios que causan la quelación del metal (Urizar, 1995; Contreras, 1999).

Saldana y Brown indican en un estudio realizado, en varias fábricas mexicanas, sobre la composición nutricional de las tortillas de maíz y de harina, que el contenido de hierro es significativamente superior en éstas que en el grano de maíz. Señalan que ocurren aumentos significativos de calcio, fósforo y hierro cuando el maíz es tratado alcalinamente (nixtamalización). En las tortillas fabricadas a partir del grano de maíz existe un contenido de hierro del 1.2 a 1.8 mg y en la tortilla de harina de maíz, el contenido es de 1.0 a 1.9 mg. Una comparación entre el contenido de hierro señalado anteriormente en el maíz y el establecido en las tortillas, muestra que en realidad ocurre un mejoramiento; sin embargo otros estudios (Serna) no muestran mayor diferencia entre el

contenido de hierro en el grano y en la tortilla, ya que señalan un leve aumento en la biodisponibilidad del mismo. La cantidad de hierro presente, tanto en la tortilla como en el grano ha sido señalada en varios documentos y se ha señalado un incremento significativo, pero no se ha establecido totalmente los cambios que se presentan en los niveles de hierro soluble (biodisponible) respecto del grano a la tortilla (Urizar, 1995; Fajardo, 2006).

3.3.5.5. **Aminoácidos**

Bressani y Scrimshaw realizaron estudios mediante la digestión enzimática *in vitro* con pepsina, tripsina y pancreatina. Al final de la digestión de la pepsina se puso de manifiesto que la cantidad de alfa-amino, en porcentaje respecto al nitrógeno digerido, era el doble en las tortillas (43.1%) que en el maíz (21.4%); también se hallaron niveles de histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina y triptófano más elevados en el hidrolizado de las tortillas que en el maíz, lo que indica una liberación más rápida de proteínas. Dichos investigadores opinaron que la diferencia de ritmo de liberación podría deberse a la considerable disminución de la solubilidad de la fracción proteica de la prolamina de las tortillas, frente a la del maíz. Serna-Saldívar, en cambio experimentando con ganado porcino al que se había colocado una sonda en el íleon, hallaron que la digestibilidad de la mayoría de los aminoácidos esenciales en ese nivel del tracto intestinal era algo superior en el caso del maíz cocido en agua común que en el cocido en agua de cal. La digestibilidad de las proteínas disminuye en forma leve, posiblemente a causa del tratamiento con calor que forma

parte del proceso (Bressani). Otros investigadores han afirmado que, durante la elaboración del maíz, la existencia de interacciones hidrofóbicas, la desnaturalización de las proteínas y su degradación probablemente dan lugar a cambios de la solubilidad de dichos elementos, que podrían influir en la liberación de aminoácidos durante la digestión enzimática (FAO, 1993).

3.4. **Proceso Industrial para elaboración de harina de maíz**

3.4.1. **Ingredientes**

Los tres ingredientes básicos necesarios para la producción de la masa son el maíz, la cal (hidróxido de calcio o cal apagada) y el agua, sin embargo otros ingredientes son utilizados para extender la vida de anaquel y mejorar el sabor (Mérida, 2007).

3.4.1.1. **Maíz**

La calidad de la tortilla, los parámetros para la cocción y el color del producto dependen de las características de la materia prima. El grano óptimo debe de ser sano, sin rajaduras o grietas, con un tamaño uniforme y una dureza entre intermedia y dura. El color de la tortilla es altamente influenciado por el color del grano y la mazorca, y por la cantidad de cal utilizada durante la cocción (Mérida, 2007).

El maíz ideal deberá tener una densidad de 772 kg/m^3 , una densidad de 13 kg/m^3 , grano de color amarillo o blanco, mazorca blanca, grano de intermedio a grande y con corona redondeada, poco profunda y sin arrugas. Se requiere una alta

proporción de endospermo duro, y el pericarpio se debe de remover fácilmente durante la cocción alcalina. Además, debe de tolerar sobre cocimiento y abuso durante la manipulación y procesamiento (Mérida, 2007; Molina, Estrada, Fidel, & Bressani, 1977).

Se deben controlar las condiciones de almacenamiento para retener la calidad del maíz, y se debe evitar la contaminación con aflatoxinas, antes y durante el almacenamiento. El maíz se debe de secar para evitar que se raje. Los granos se dañan fácilmente si se manejan inadecuadamente durante el almacenamiento, carga y descarga en los silos (Mérida, 2007).

3.4.1.2. Cal (Hidróxido de Calcio o cal apagada)

En la industria se utiliza cal de grado alimenticio, por ejemplo la cal hidratada. La solubilidad de la cal en el agua disminuye a medida que la temperatura aumenta. Sólo es posible disolver 0.67 g de cal por litro de agua a 79.5 °C, mientras que a una temperatura de 21 °C se pueden disolver 1.2 g/L. La concentración de cal utilizada más frecuentemente es 3.33 g/L, y la temperatura de cocción es de 85 a 100 °C (Mérida, 2007).

El tratamiento con cal permite remover el pericarpio con facilidad durante la cocción y el remojo, controla la actividad microbiana, e influye en el sabor, aroma, color, vida de anaquel y valor nutricional de las tortillas (Mérida, 2007).

Algunas veces se utilizan altas concentraciones de cal para incrementar el pH de las tortillas a un nivel en el que se retarda el deterioro por microbios (Mérida, 2007).

Durante la cocción y el remojo, menos de 0.2% de cal es retenida por el grano, el resto se va en el agua de cocción y de lavado. Las concentraciones altas de cal aumentan las pérdidas de material seco del maíz, aumentando así el costo del procesamiento del agua desechada durante el proceso. Si no se le da el tratamiento correcto al agua de desecho en las fábricas de tortillas, la alta demanda de oxígeno por parte de ésta puede dañar el medio ambiente (Mérida, 2007).

3.4.1.3. Agua

En ella el maíz se cocina y la cal se disuelve parcialmente. Generalmente para la producción de la masa de maíz, éste se cocina con 2.5 a 3 partes de agua y 1% de cal, en base al peso del grano. Durante la cocción, el almidón se gelatiniza parcialmente, y otros componentes del grano se hidratan y cambian. El agua es absorbida y ligada durante el remojo. Además, es necesario agregar agua durante la molienda. La cantidad de agua utilizada depende del tiempo de cocción, el cual depende a su vez de la cantidad de materia prima utilizada y de la textura deseada de la masa (Mérida, 2007).

El agua también es muy importante cuando las tortillas se hacen a partir de harina de maíz nixtamalizado, ya que la textura de la masa está altamente influenciada por la cantidad de agua utilizada para reconstruir la harina (Mérida, 2007).

3.4.1.4. **Gomas**

Las gomas son utilizadas en la fabricación de tortillas para mejorar las propiedades de almacenamiento y funcionalidad. Actúan como estabilizadores, ayudando a contrarrestar los efectos de los cambios naturales de los ingredientes. Se cree que las gomas mejoran la textura de la tortilla, no permiten que se peguen las tortillas entre sí, mejoran la tolerancia a los procesos de congelado y descongelado, y aumentan el rendimiento. Los niveles recomendados varían de 0.25 a 0.5% del peso de la harina (Mérida, 2007).

La goma más utilizada por la industria de harina de maíz nixtamalizado es la carboximetil celulosa, ésta aumenta la absorción de agua y la viscosidad, y retarda el envejecimiento. Otras gomas utilizadas son: guar, xantán y arábica. La goma barata es la guar, seguida por carboximetil celulosa, sin embargo, ésta última es la que más evita que las tortillas se peguen entre sí (Mérida, 2007).

3.4.1.5. **Emulsificadores**

Son pocos los estudios realizados del efecto de los emulsificantes en las tortillas de maíz (Mérida, 2007).

La adición de mono glicéridos produce tortillas más suaves, más enrollables, y menos secas. Debido al efecto en las proteínas y el almidón, los emulsificantes y los surfactantes ayudan a retardar el envejecimiento (Mérida, 2007).

3.4.2. Elaboración de la masa

Para la elaboración industrial de la masa, generalmente el maíz se mezcla con 2.5 a 3 partes de agua y 1% de cal (el contenido de cal varía de 0.8 a 5%), basado en el peso del grano. Los cuatro pasos principales son: calentar la mezcla, mantener la temperatura, disminuir la temperatura y dejar en remojo. El tiempo de cocción varía desde algunos minutos, hasta 1.5 horas, pero más que todo de 5 a 45 minutos. Después de la cocción, se apaga la fuente de calor y el grano se deja en remojo de 8 a 16 horas. En algunos casos se deja remojar en el mismo tanque en donde se cocinó, o se transfiere a otro contenedor. Aunque la cocción depende de las características del maíz y la interacción con el tiempo, la concentración de cal, agitación y tipo de equipo, generalmente se requieren temperaturas de 68°C para que se cocine el grano (Mérida, 2007).

La más utilizada para la producción de tortillas de mesa tiene un contenido de humedad de 52 a 55%, por lo cual tiene una vida de anaquel muy corta (Mérida, 2007).

El equipo utilizado para la elaboración de la masa va a variar dependiendo si el proceso se va a ser continuo o por batch. Los diferentes equipos utilizados en cada uno de los pasos para elaborar la masa se describen a continuación (Mérida, 2007).

3.4.2.1. Cocción por Batch y Remojo

Para la cocción del maíz por Batch, se utilizan tres métodos comerciales. Tanto la caldera Hamilton como la vertical, trabajan con temperaturas controladas y dan buenos resultados. Además de tener una alta eficacia (Mérida, 2007).

3.4.2.1.1 *Quemadores de gas y agitación manual de la mezcla de maíz-agua-cal en recipientes abiertos:* este método tiende a consumir mucha energía, es laborioso y difícil de controlar. Generalmente es utilizado por pequeños procesadores en los Estados Unidos, y es el más utilizado en México. Para disminuir el consumo de energía se substituyen los quemadores de gas por tubos rociadores inyectados con vapor. Los contenedores destapados se utilizan tanto para la cocción como para el remojo, y generalmente tienen una capacidad de 180 a 900 kg, por contenedor (Mérida, 2007).

3.4.2.1.2 *Caldera Hamilton:* este tipo de caldera es calentada indirectamente con vapor, y la mezcla es agitada mecánicamente. Está diseñada para cocinar en o cerca del punto de ebullición y obtener un calentamiento uniforme de la mezcla. Después de ser cocinada la mezcla en la caldera, ésta se bombea a un contenedor para el remojo. La capacidad varía de 136 a 270 kg (Mérida, 2007).

3.4.2.1.3 *Caldera cerrada verticalmente:* en ésta se agita y calienta el maíz y la solución de cal mediante un sistema de inyección directa de vapor. El tanque se utiliza para cocinar y remojar. Para obtener más agitación, se inyecta aire comprimido. El sistema está diseñado para cocinar a temperaturas abajo del punto de ebullición (85°C), por lo que el tiempo

de cocción es mayor que en la caldera Hamilton. Las calderas verticales tienen una capacidad de 1360 a 2730 kg (Mérida, 2007).

3.4.2.2 **Cocción Continua**

Este proceso se diseñó para contrarrestar las variaciones de la cocción entre distintos batches y para producir un nixtamal en menos tiempo y, con mayor control de humedad y obtener así un producto más uniforme. Consiste en la alimentación de los granos limpios a una solución caliente de cal (80°C) y con un pH de 11 a 12 (Mérida, 2007).

La solución es introducida bajo presión al fondo de un tanque y fluye hacia arriba a través de los granos. El maíz se descarga desde el fondo del tanque a una velocidad controlada y se lava para remover el pericarpio. Posteriormente, el nixtamal con una humedad del 50% se muele para producir la masa. Este proceso se puede llevar a cabo durante 5 a 7 horas, con menor equipo, labor y espacio que el proceso convencional. Además recicla la solución de cal, reduciendo así los costos. A pesar de sus ventajas, el proceso de cocción continua casi no se utiliza (Mérida, 2007).

3.4.2.3 **Lavado**

Después del remojo, se separa el maíz del licor de remojo, y el nixtamal se lava con agua a presión o con rociadores. Este paso se elimina la mayoría del pericarpio y el exceso de cal. Comercialmente, el proceso de lavado se hace en dos tipos de equipo (Mérida, 2007).

3.4.2.3.1 Lavado de tambor: consiste de un contenedor que transporta el nixtamal a un cilindro rotatorio perforado con escapes internos y rociadores de agua localizados cerca del tambor. El nixtamal pasa después a un contenedor en donde escurre el exceso de agua (Mérida, 2007; Molina, Estrada, Fidel, & Bressani, 1977).

3.4.2.3.2 Sistema de mallas lowboy: consiste de un recipiente equipado con mallas internas y rociadores. El nixtamal es lavado continuamente desde el fondo del recipiente. En ambos equipos, el nixtamal es transportado a una tolva que alimenta el molino de piedra (Mérida, 2007).

3.4.2.4 **Molienda con piedras**

El nixtamal lavado se muele utilizando dos piedras labradas, una estacionaria y otra que rota a 500 a 700 rpm industrialmente se utilizan piedras volcánicas o sintéticas. La reducción de partículas es directamente proporcional a la profundidad de las grietas. Para enfriar las piedras, prevenir el desgaste excesivo y enfriar la masa, se agrega agua durante la molienda. Para un molino con capacidad de 600 kg/h, se agrega aproximadamente 0.6 a 1.2 L/min. El contenido de humedad depende del producto que se desea producir (Mérida, 2007).

El tamaño de partícula de la masa depende de distintos factores: del grado de cocción del nixtamal, labrado de la

pedra, abertura o presión entre las piedras, cantidad de agua utilizada durante la molienda, y el tipo de maíz. Para la producción de tortillas de mesa, el nixtamal se cocina más, el labrado de las piedras es poco profundo y la abertura entre las piedras se ajusta para aplicar más presión (Mérida, 2007).

3.4.3. Elaboración de la harina

Para este proceso el maíz es previamente seleccionado con base a la integridad del grano y a su contenido de humedad pues un alto porcentaje conlleva problemas de almacenamiento. El maíz almacenado en silos se transporta al área de proceso y entra a un proceso de cocinado y remojado como se explicó anteriormente, sin embargo el tiempo de remojo se puede acortar para que el grano no absorba tanta agua. Después se hace una molienda gruesa de nixtamal, la cual se seca generalmente en toneles grandes o torres de secado a través de los cuales fluye aire caliente a contracorriente. La masa se seca hasta obtener un contenido de humedad de 10 a 12%, luego se muele hasta obtener el tamaño de partícula deseado y se cierne. Posteriormente se seleccionan varios grupos de partículas de distintos tamaños y se mezclan para producir harinas de maíz con una distribución de tamaño de partícula óptimo para distintas aplicaciones. Generalmente la harina se empaca en bolsas de 2 y 50 lb (1 y 25 kg) de papel con capa interna de polietileno (Mérida, 2007).

El rendimiento industrial de este proceso varía entre 86 y 95% dependiendo del tipo de maíz, su calidad en términos de integridad del grano y las condiciones del proceso en sí (Mérida, 2007).

La ventaja de la harina es que tiene una vida de anaquel de un año si se almacena en un lugar seco, y sólo es necesario agregarle agua

para formar la masa, la cual puede utilizarse para tortilla u otros productos utilizando equipo comercial. Muchos fabricantes utilizan harina de maíz nixtamalizado porque es fácil de procesar y no requiere de mucha labor, espacio y equipo, además de evitar problemas como tratamiento para el agua de desecho, calidad del maíz y control de procesos de manufactura. Sin embargo en algunas fábricas se prefiere utilizar la masa fresca, ya que es más barata y se obtienen productos con mejor sabor. La mayor ventaja del uso de harina de maíz nixtamalizado es que ayuda a mejorar la flexibilidad del producto y la consistencia. Además se puede mezclar fácilmente con otros ingredientes antes de ser procesada. Actualmente se producen harinas de maíz nixtamalizado para la producción de tortillas de maíz amarillo y blanco, tamales y otros productos (Mérida, 2007).

3.5. **Otras tecnologías para elaborar harina de maíz**

El método tradicional para la elaboración de tortillas de maíz dura aproximadamente de 14 a 15 horas y requiere de mucho trabajo. Las operaciones de cocción y remojo utilizan aproximadamente el 70 a 80% de este tiempo, lo cual es conveniente para el ama de casa rural. En la industria la molienda y el secado son las operaciones de mayor costo. El maíz nixtamalizado se debe de deshidratar desde un 56% de humedad hasta un 10 a 12% para obtener la harina. Debido a que cualquier método que disminuya el tiempo y costo de la harina de tortilla de maíz nixtamalizado y que dé tortillas aceptables es ventajoso, se han llevado a cabo varios estudios para optimizar el proceso (Mérida, 2007).

En una de las evaluaciones se llevó a cabo un proceso de cocción a presiones de 5 y 15 psig en condiciones húmedas y secas para tiempos de 15, 30 y 60 minutos. La cocción a 15 psig en condiciones secas y

particularmente para un tiempo de 60 minutos, reduce la calidad nutricional del producto. Las tortillas obtenidas fueron aceptables pero la tecnología no se utiliza (Mérida, 2007).

Khanet.al. (1982) hicieron un estudio comparativo de tres métodos de cocción y obtuvieron que aunque en el método tradicional hay mayor cantidad de pérdidas, se producen tortillas de mejor calidad, textura, color y aceptabilidad. La cocción bajo presión da lugar a una más pegajosa y tortillas indeseables, y la cocción por el método comercial produce tortillas de menor calidad (Mérida, 2007).

Bedollaet.al. (1983) encontraron que los métodos de cocción afectan las pérdidas de materia seca durante el procesamiento y concluyeron que el remojo previo a la cocción, reduce el tiempo de este proceso en un 40%. Además se obtuvo que la reducción de la viscosidad, y el aumento de pérdidas de material seco, absorción de agua, contenido de calcio y almidón susceptible a procesos enzimáticos se dio más rápidamente para el maíz remojado antes de la cocción (Mérida, 2007).

Se han propuesto otros procesos alternativos para producir harina de maíz nixtamalizado, el objeto de estos procesos es producir harina de maíz a través de un proceso continuo, rápido y más eficiente en cuanto a labor, energía y espacio necesario. Sin embargo, generalmente los métodos propuestos no producen harinas de calidad comparable con la harina de maíz nixtamalizado producida comercialmente (Mérida, 2007).

Existe un proceso continuo de cocción por extrusión en el cual se evita la gelatinización del almidón y que se infle el producto. El producto se ve afectado por el tamaño del grano, la humedad de la alimentación, velocidad y configuración del equipo, tamaño y forma del molde, y calor introducido. Generalmente se mezclan los granos de maíz con la cal (0.2-

0.3% del peso del maíz) y el agua para alcanzar un contenido de humedad del 34%. La mezcla cruda se alimenta continuamente al extrusor y sale con una humedad de aproximadamente 18 a 20%. Un 10% de humedad adicional es removida por secado continuo a 600°C. El producto, con aproximadamente 10% de agua, se muele en un molino de martillo y posteriormente se cierne (Mérida, 2007).

Bazúa *et al.* (1979) procesaron el maíz en grano con distintas concentraciones de cal (0.1 a 1%), utilizando el método de extrusión. De los resultados organolépticos se obtuvo que es posible hacer tortillas de aceptación cultural utilizando el método de extrusión (Mérida, 2007).

Otro proceso para producir harina de maíz nixtamalizado propone utilizar un secador de tambor. Se mezcla harina de maíz entero con agua y cal, posteriormente se cocina y se seca en un secador de doble tambor con un espacio entre tambores de 0.007 mm, una presión interna de 110 a 183 kg/m², y una rapidez de 2 rpm. Las tortillas producidas a partir de esta harina tienen propiedades similares a las producidas tradicionalmente. Molina *et al.* (1977) llevaron a cabo un proceso similar en el cual la harina de maíz se mezclaba con tres partes de agua y 0.3% de cal en base seca. La masa se mezclaba y se pasaba por un secador de doble tambor calentado con vapor a 15, 20 o 25 psi (temperatura superficial de 93, 99 y 104 respectivamente) a 2, 3 y 4 rpm. Las tortillas preparadas con la harina instantánea obtenida tenían características fisicoquímicas y organolépticas idénticas a las preparadas por el método tradicional, pero eran distintas a las del producto comercial (Mérida, 2007).

Johnson *et al.* (1980) estudiaron el proceso de micronización para producir harina de maíz nixtamalizado. La micronización es un proceso que utiliza rayos infrarrojos para calentar en seco el grano, obteniendo así un calentamiento rápido del grano y cocinado esté desde adentro hacia afuera.

Se disminuyó el pH para mejorar el sabor y el color. Las tortillas hechas con esta harina tenían una textura y rolabilidad comparable con las tortillas comerciales. La vida de anaquel es de un mes (Mérida, 2007).

El proceso hidrotérmico fue desarrollado por el Dr. Ricardo Bressani y es básicamente, una variación del proceso industrial actual para elaborar harina de maíz nixtamalizado. Las características de la materia prima necesaria para la elaboración de la harina no difieren en lo absoluto del método industrial, pero las proporciones a utilizar y el agua de desecho generada si disminuye (Mérida, 2007).

Según Coronado, (1997) el proceso hidrotérmico tiene algunos pasos previos a la cocción del maíz. El primero de los pasos consiste en perlar el grano, esto significa eliminar el pericarpio o cáscara. Después el maíz se muele en seco y se agrega una solución de cal (0.4% con base al peso seco del maíz), esta mezcla se deja reposar por 30 minutos a temperatura ambiente para distribuir homogéneamente el agua y la cal. Posteriormente la mezcla se cocina a una temperatura entre 55-65°C. El maíz cocinado se deshidrata en un horno convencional a una temperatura entre 100 y 103°C, hasta obtener una humedad entre 10 y 12%. Al final la harina se debe moler nuevamente (Mérida, 2007).

Para obtener una harina similar a la harina industrial y que al hidratarse se obtenga una tortilla de buena calidad, se recomienda que el maíz perlado se muele hasta obtener una granulometría de 40 mesh antes de cocinarse, no puede ser un polvo muy fino, porque formaría una pasta. La reducción del grano se hace con el objeto de aumentar el área expuesta, haciendo más fácil la penetración del agua. Así mismo se disminuye la cantidad de agua y energía a utilizar, logrando más fácilmente la gelificación del maíz (Mérida, 2007).

Además también se recomienda cocinar el maíz durante 25 a 35 min, con 45% de agua de cocción con la cual se obtiene una tortilla con suficiente humedad. Es importante que la humedad no varíe en más de 5% durante el cocimiento, pues esto cambia algunas propiedades fisicoquímicas (Mérida, 2007).

Se encuentran varias ventajas al utilizar este proceso: para que se obtenga una tortilla de buena calidad, el agua debe penetrar en el grano hasta absorber un 50% de agua aproximadamente, mientras que el proceso industrial utiliza mayor tiempo de cocción y de remojo, ya que se procesa con el grano entero de maíz; disminuye los costos de proceso con la humedad inicial de la masa a deshidratar, entonces con este proceso la deshidratación se inicia con un 10% menos de humedad aproximadamente que la masa elaborada por el proceso industrial tradicional; disminuye el volumen de aguas contaminadas, porque el nixtamal no se debe lavar después del remojo (Mérida, 2007).

3.6. Proceso de fortificación con Hierro en harina de maíz fabricada industrialmente.

De acuerdo al Codex Alimentarius (1994), fortificación o enriquecimiento es la adición de uno o más nutrientes esenciales a un alimento (vehículo) estén o no contenidos normalmente en dicho alimento con el fin de prevenir o corregir las deficiencias demostradas en grupos específicos o en la población total (Hertrampf, 2002).

La fortificación debe estar basada en evidencias científicas, que fundamenten tanto la deficiencia nutricional como el beneficio potencial para la salud del aumento de la ingesta del nutriente en la población objetivo (Hertrampf, 2002).

3.6.1. Principios para la adición de nutrientes a los alimentos:

Frente el creciente interés por fortificar los alimentos por parte de la industria de alimentos es necesario analizar en detalle los principios establecidos por la FAO en 1994 (Hertrampf, 2002):

- 3.6.1.1. El nutriente debe estar presente en un nivel que no resulte ni en una ingesta insignificante o excesiva en relación a las cantidades presentes en la dieta.
- 3.6.1.2. La adición de un nutriente esencial a un alimento no debe producir un efecto adverso en el metabolismo de ningún otro nutriente.
- 3.6.1.3. El nutriente debe ser biológicamente disponible desde el alimento.
- 3.6.1.4. El nutriente debe ser suficiente estable en el alimento bajo las condiciones habituales de empaque, almacenamiento, distribución y uso.
- 3.6.1.5. El nutriente no debe impartir características indeseables al alimento y no debe de acortar la vida útil.
- 3.6.1.6. Debe de estar disponibles las facilidades tecnológicas y de procesamiento para permitir la adición del nutriente de una manera satisfactoria.
- 3.6.1.7. La adición de los nutrientes esenciales a los alimentos no debe usarse para confundir o engañar al consumidor en relación a los méritos nutricionales del alimento.
- 3.6.1.8. El costo adicional debe ser razonable para el consumidor potencial.
- 3.6.1.9. Deben estar disponibles métodos de medición y control de los niveles de nutrientes adicionados a los alimentos.

3.6.1.10. Al plantear formulaciones, regulaciones, y normas sobre los alimentos fortificados, se deben identificar los nutrientes esenciales.

3.6.2. Fortificación con hierro en América Latina

La fortificación de los alimentos con hierro fue identificada como una de las estrategias para el control de la deficiencia de hierro en América por la Organización Panamericana de la salud (1996) (Hertrampf, 2002).

En Latinoamérica y el Caribe, hay tres tipos de fortificación (Hertrampf, 2002):

- 3.6.2.1. *Universal*: programas de fortificación de alimentos de consumo masivo tales como la harina de maíz.
- 3.6.2.2. *Focalizada*: programas de fortificación dirigida a grupos específicos y dentro de programas de bienestar social, como los alimentos complementarios para niños pequeños, alimentos para escolares, para ancianos, como leche en polvo, atoles, galletas.
- 3.6.2.3. *Voluntaria*: fortificación de alimentos donde la adición de hierro y otros micronutrientes a alimentos procesados es permitida, tales como cereales de desayuno, leches líquidas, etc.

3.6.3. Tecnología para fortificar con hierro la harina de maíz fabricada industrialmente.

El proceso de agregar micronutrientes a la harina refinada de maíz y la selección de los dosificadores o alimentadores deben ser estudiados cuidadosamente. El proceso de dosificación deberá asegurar la distribución uniforme de los nutrientes en el producto, en el molino,

durante el almacenamiento, y en los alimentos después de que estos son preparados. Se deberán calcular y tomar en cuenta las pérdidas experimentadas durante el procesamiento, el almacenamiento y la cocción al determinar el nivel de micronutrientes que se agregará (Hertrampf, 2002).

Los micronutrientes pueden ser agregados en forma individual o combinados en una premezcla en una proporción especificada. La premezcla se agrega a una tasa compatible con el flujo de harina refinada a lo largo de la correa transportadora (habitualmente 10-60 g/100 kg de harina refinada) usando alimentadores regulables. Se usan alimentadores automáticos volumétricos o tipo tornillo. Es importante mezclar bien la harina refinada después de agregar los micronutrientes (Hertrampf, 2002).

Los dos lugares más comunes para agregar los micronutrientes son:

- Antes de envasar en un transportador tipo tornillo (se obtiene un mezclado apropiado).
- El lugar donde convergen las harinas refinadas provenientes de diferentes lotes (se obtiene un mezclado excelente).

Para minimizar los errores en la tasa de agregado, los micronutrientes deben fluir libremente y, para evitar que se separen de la harina refinada, el tamaño de la partícula debe ser similar a la del producto final. El control y la regulación del alimentador es de suma importancia para agregar la cantidad correcta de micronutrientes a la harina refinada (Hertrampf, 2002).

3.7. Enfermedades causadas por deficiencia de Calcio

3.7.1. Osteoporosis

La osteoporosis es un trastorno esquelético que se caracteriza por la pérdida de masa ósea y el deterioro de la arquitectura del hueso esponjoso con un aumento ulterior de la fragilidad ósea y la tendencia a las fracturas. Aunque la osteoporosis puede ocurrir como resultado de un trastorno endocrino o de una neoplasia maligna, lo más frecuente es que se vincule con el proceso de envejecimiento. Después de alcanzada la masa ósea máxima a los 30 años de edad la tasa de resorción ósea supera a la tasa de formación, lo que determina una pérdida continua de masa ósea. Esta pérdida puede llegar hasta aproximadamente el 1-2% anual en las mujeres menopáusicas (Porth, 2006).

La patogenia de la osteoporosis no es clara pero la mayor parte de la información apunta a un desequilibrio entre la resorción de la formación ósea de modo que la resorción excede a la formación. Aunque estos dos factores desempeñan un papel en la mayor parte de los casos de osteoporosis, su contribución relativa a la pérdida ósea puede variar de acuerdo con la edad, el estado nutricional y la predisposición genética (Porth, 2006).

En condiciones normales la masa ósea aumenta de forma constante durante la niñez y llega al máximo durante los primeros años de la edad adulta. La masa ósea pico, un determinante importante del riesgo ulterior de osteoporosis, depende de factores genéticos, del nivel hormonal

(estrógenos), del ejercicio físico, de la ingesta de calcio y de factores ambientales. La desnutrición o una reducción de la absorción intestinal de calcio relacionada con la edad por activación deficiente de la vitamina D pueden contribuir al desarrollo de osteoporosis, particularmente en los ancianos (Porth, 2006).

Las alteraciones causadas por osteoporosis han sido explicadas por dos procesos patológicos distintos que afectan a las mujeres en una fase temprana o tardía de la vida. El tipo I es causado por la deficiencia temprana de estrógenos posterior a la menopausia y se manifiesta por la pérdida de hueso trabecular, con predisposición a la fractura de las vértebras y del radio distal. El tipo II (osteoporosis senil) se debe a una deficiencia de calcio y es un proceso más lento en el cual se pierde hueso cortical y hueso esponjoso. Las fracturas de cadera que se ven en una etapa posterior de la vida son resultado del segundo tipo (Porth, 2006).

La osteoporosis suele ser un trastorno silencioso, a menudo las primeras manifestaciones de la enfermedad son las que acompañan a una fractura (una fractura vertebral por compresión o fracturas de cadera, pelvis, húmero o cualquier otro hueso). Las fracturas ocurren típicamente con menor fuerza que la usual (Porth, 2006).

Es importante identificar a las personas pertenecientes a grupos de alto riesgo para que el tratamiento pueda ser iniciado tempranamente. Las mujeres posmenopáusicas de baja talla o con masa corporal magra, las que tienen un estilo de vida sedentario, las que ingieren poco calcio y las que

padecen alguna enfermedad que desmineraliza el hueso son las que corren el mayor riesgo (Porth, 2006).

Los ejercicios físicos regulares y la ingesta adecuada de calcio son factores importantes en la prevención de la osteoporosis. Las investigaciones realizadas han indicado que las mujeres premenopáusicas necesitan más de 1,000 mg de calcio por día y las posmenopáusicas 1,500 mg por día. Esto significa que una persona adulta debe ingerir de tres a cuatro vasos de leche por día o de seis a ocho tortillas por día (Porth, 2006; Menchú & Méndez, 2007).

Para el tratamiento activo de la osteoporosis se utilizan cuatro tipos de agentes antirresorción: hormonas gonadales (estrógenos), calcitonina, fluoruros, y bisfosfonatos (Porth, 2006).

3.7.2. Osteomalacia

La osteomalacia provoca reblandecimiento de los huesos y no implica pérdida de la matriz ósea. Es una afección ósea generalizada en la que la mineralización incorrecta del hueso es resultado de una deficiencia de calcio, fosfato o de ambos (Porth, 2006).

Existen dos causas principales que son: absorción intestinal de calcio insuficiente por falta de calcio; y resistencia a la acción de la vitamina D con deficiencia de fosfato debida a un aumento de la excreción renal o a una reducción de la reabsorción intestinal (Porth, 2006).

La incidencia es elevada en los ancianos porque la dieta es deficiente en calcio y vitamina D, la que a menudo se complica con los problemas de mala absorción intestinal que acompañan al envejecimiento (Porth, 2006).

Las manifestaciones clínicas de la osteomalacia consisten en dolor óseo, hipersensibilidad a la palpación y fracturas a medida que la enfermedad progresa. En los casos graves, la debilidad muscular muchas veces es un signo temprano. Los efectos combinados de la fuerza de gravedad, la debilidad muscular y el reblandecimiento óseo contribuyen al desarrollo de deformidades (Porth, 2006).

El tratamiento de la osteomalacia está dirigido a la causa de fondo, si el problema es nutricional puede ser suficiente con reponer cantidades adecuadas de calcio y vitamina D en la dieta. El tratamiento prolongado más barato y eficaz es una dieta rica en vitamina D, junto con una cuidadosa exposición al sol del mediodía. Si ha sido causada por malabsorción el tratamiento se orienta a la corrección de la enfermedad primaria (Porth, 2006).

3.7.3. Raquitismo

El raquitismo es un trastorno causado por deficiencia de vitamina D, absorción insuficiente de calcio y mala mineralización ósea en los niños. Las causas de la enfermedad son la exposición insuficiente a la luz del sol y una lactancia materna prolongada sin suplementación de vitamina D, otra causa puede ser el uso de leches comerciales alternativas que no están fortificadas con vitamina D. También

puede contribuir al desarrollo de la enfermedad una deficiencia de calcio y fósforo en la dieta. Los huesos se deforman, en las placas epifisarias la osificación se retrasa y es desordenada, lo que determina un engrosamiento de la placa de cartílago epifisario, entonces todo el hueso que crece está desmineralizado (Porth, 2006).

Los síntomas por lo general son advertidos entre los 6 meses y los 3 años de edad, el niño crece poco y a veces su altura está muy por debajo del rango normal. Los síntomas iniciales son letargo y debilidad muscular, que puede estar acompañada por convulsiones o tetania relacionada con la hipocalcemia. La irritabilidad es común. En casos graves, los niños pierden su pigmento cutáneo, adquieren tejido subcutáneo flojo o “fofo” y tienen una musculatura poco desarrollada. Los extremos de los huesos largos y de las costillas están agrandados. El tórax puede tener forma anormal, con cartílagos costales prominentes (es decir, el rosario raquítrico). Las extremidades inferiores muestran deformidades como pierna arqueada. El cráneo está agrandado y blando y el cierre de las fontanelas se demora. El desarrollo de los dientes es lento y el niño puede tener dificultad para permanecer de pie (Porth, 2006).

El raquitismo se trata con una dieta balanceada suficiente en cuanto en calcio, fósforo y vitamina D, la exposición a la luz solar también es importante, en especial para los niños prematuros y los que son alimentados con leche artificial. Durante algunos meses se administra vitamina D suplementaria en cantidad superior al requerimiento normal. Es posible que una vez controlada la enfermedad las

deformidades deban ser corregidas quirúrgicamente a medida que el crezca (Porth, 2006).

3.8. Enfermedades causadas por deficiencia de Hierro

3.8.1. Anemia Ferropénica

La deficiencia de hierro es una causa común de anemia que afecta a personas de todas las edades en todo el mundo. La anemia es resultado de la deficiencia de hierro en la dieta, de la pérdida de hierro a través del sangrado o del aumento de las demandas. Dado que el hierro es un componente del hemo, su deficiencia conduce a una disminución de la síntesis de la hemoglobina con el deterioro consiguiente de la provisión de oxígeno (Porth, 2006).

La mayor parte del hierro proviene de la carne y cuando la carne no está disponible, o no es constituyente de la dieta, puede aparecer la deficiencia de hierro. Los requerimientos de hierro son proporcionalmente mayores en la infancia (3 a 24 meses) que a cualquier otra edad, aunque también aumentan en la niñez y la adolescencia. En la infancia las dos causas principales de anemia son los niveles bajos de hierro en el momento del nacimiento debido a la deficiencia materna y una dieta que consiste principalmente de leche de vaca, ya que tiene bajo contenido de hierro absorbible. Los adolescentes y las adolescentes son susceptibles a la pérdida de hierro debido a los altos requerimientos secundarios al crecimiento acelerado, la deficiencia de la dieta y la pérdida menstrual (Porth, 2006).

La deficiencia de hierro se caracteriza por valores bajos de hemoglobina y hematocrito, disminución de las reservas de hierro y niveles séricos reducidos de hierro y ferritina, también el número de glóbulos rojos está disminuido (Porth, 2006).

Las manifestaciones de la anemia por deficiencia de hierro se relacionan con el deterioro del transporte de oxígeno y la falta de hemoglobina. Según la intensidad de la anemia el paciente puede desarrollar fatiga, palpitaciones, disnea, angina de pecho y taquicardia. La atrofia epitelial es común y produce palidez cerosa, pelo y uñas quebradizas, lengua lisa, boqueras y a veces disfagia y disminución de la secreción ácida. Un síntoma mal comprendido que a veces se observa es la pica, una necesidad extraña y compulsiva de comer hielo, suciedad u otras sustancias anormales. La deficiencia de hierro en los niños puede producir manifestaciones neurológicas como retraso del desarrollo, accidente cerebrovascular y parálisis de los nervios craneales (Porth, 2006).

La prevención de la deficiencia de hierro es fundamental en los lactantes y los niños. Se recomienda evitar la leche de vaca, administrar suplementos de hierro a los lactantes de 4-6 meses de edad alimentados con leche materna y utilizar leches maternizadas y cereales fortificados con hierro en los lactantes menores de 1 año. En el segundo año una dieta rica en alimentos con alto contenido de hierro y el uso de vitaminas fortificadas con hierro ayudarán a prevenir la deficiencia de este elemento (Porth, 2006).

Los objetivos del tratamiento de la anemia consisten en controlar la pérdida crónica de sangre, incrementar la ingesta

de hierro en la dieta y administrar suplementos de hierro. El sulfato ferroso, que es la terapéutica de reposición oral usual, repone las reservas en varios meses. El tratamiento por vía parenteral (por vía intravenosa o muscular) se utiliza el dextrán férrico, pero debido a la posibilidad de reacciones de hipersensibilidad graves es necesario administrar una dosis de prueba antes de la administración de la primera dosis terapéutica del fármaco, puede provocar reacciones alérgicas o anafilácticas graves (Porth, 2006).

3.9. Otras investigaciones realizadas

Estudio realizado en Guatemala (2007), en el cual se estudió la factibilidad para una fábrica de harina de maíz nixtamalizado por proceso hidrotérmico, elaborado por Ivana Lorena Mérida Figueroa, en el cual se determinó que la producción de harina de maíz nixtamalizada por el proceso hidrotérmico tiene mayores ventajas que al realizarla por el proceso industrial tradicional, aunque su costo es mayor (Mérida, 2007).

En Guatemala (2006), se realizó un estudio de la absorción de iones de hierro en harina de maíz utilizando cal fortificada con hierro durante la nixtamalización, elaborado por Oscar Fajardo Balcárcel, en el cual se determinó que sí existe absorción y retención de los iones de hierro en la harina luego de la fortificación de la misma y además que el hierro que presenta mayor absorción por parte del maíz es el óxido de hierro (Fajardo, 2006).

Estudio realizado en Guatemala (2005), en el cual se determinó el tipo de calidad de los ingredientes utilizados como materia prima en la elaboración de tortillas elaboradas artesanalmente para la venta y autoconsumo, además de las características funcionales que esta presenta en algunos

municipios de los departamentos de Jutiapa y Totonicapán, elaborado por Astrid Aldana Paíz, en el cual se comprobó que las tortillas de mejor calidad son las elaboradas a partir de maíz blanco, además no se encontró relación entre el costo de producción y la calidad de la tortilla (Aldana, 2005).

En Guatemala (1995), se realizó un estudio para determinar el efecto de la nixtamalización del maíz sobre el contenido de ácido fítico, calcio y hierro, elaborado por Ana Urizar Hernández, por lo que se estableció que el ácido fítico disminuye significativamente durante el proceso de nixtamalización en la cocción alcalina, también el hierro ionizable como el contenido de calcio aumentaron respecto al grano, a niveles altos de cal y cocción, además el calcio satura directamente al ácido fítico, por lo que inhibe sus grupos reactivos entonces hay un aumento en la biodisponibilidad del hierro (Urizar, 1995).

Estudio realizado en Guatemala (1993), para determinar el efecto del proceso de nixtamalización de variedades de maíz sobre las propiedades físico-químicas y nutricionales de la tortilla y el tamalito, elaborado por Angélica Tucux Sajquim, en donde se observó que en el proceso de grano crudo a masa y sus productos hay un aumento de humedad, cenizas, proteínas, calcio y fósforo así como una disminución en la grasa y fibra cruda, también la tortilla reportó valores mayores de calcio y fósforo que el tamalito, además el Nixtamal de campo presentó un mayor contenido de calcio que el de laboratorio debido al proceso alcalino utilizado (Tucux, 1993).

4. JUSTIFICACIÓN

La harina de maíz fabricada industrialmente, ha sido utilizada con mayor frecuencia en las tortillerías, debido a que el precio de este producto en peso, es similar al precio del maíz blanco del mismo peso, además que se omite el proceso de nixtamalizar el maíz, es decir, cocido con cal, lavado y molienda del mismo, mientras que con la harina de maíz, solamente se le adiciona agua para preparar la masa y posteriormente las tortillas. El estudio evaluará el valor nutritivo respecto a calcio y hierro, en las tortillas elaboradas con harina de maíz fabricada industrialmente, por medio de la cuantificación de los mismos, ya que este alimento es un producto de consumo masivo, especialmente en los sectores más pobres de la población guatemalteca. Se han efectuado estudios que establecen la presencia de calcio y hierro en tortillas preparadas con maíz nixtamalizado. Sin embargo, es importante también tener conocimiento del valor nutritivo de la harina de maíz fabricada industrialmente, ya que hoy en día, se está utilizando con mayor frecuencia.

Entonces, se pretende identificar la presencia de estos minerales, pues son importantes en la dieta de una persona, ya que le ayudan a prevenir enfermedades como osteoporosis o anemia, por la deficiencia de los mismos. También se verificará, por medio de la cuantificación de calcio y hierro que el valor obtenido experimentalmente en las muestras de tortillas elaboradas con harina maíz fabricada industrialmente, son comparables con los valores que indica la Tabla de Composición de Alimentos para Centroamérica (INCAP), para tortillas hechas de maíz directamente.

Las tortillas son una fuente barata de calcio, principalmente para las personas que dependen de ésta como su principal fuente de alimento. El proceso de nixtamalización que consiste en la adición de cal³ industrializada, permite que se

³Cal: es la sustancia utilizada en el proceso de nixtamalización de tortillas, es también llamada cal apagada o Hidróxido de Calcio.

incremente la cantidad de calcio presente en la tortilla. Pero, con el hierro es diferente, ya que su disponibilidad en el maíz es baja, por este motivo, las harinas de maíz utilizadas en la industria son fortificadas con este mineral, para que la tortilla sea fuente de hierro también.

Es importante tomar en cuenta que la conversión de maíz en tortillas requiere de un proceso en el cual se utiliza agua, calor y cal, donde estos elementos influyen en la composición química de la masa de maíz elaborada dando lugar a modificaciones en su contenido de nutrientes. Los cambios se deben a las pérdidas químicas causadas por la destrucción de algunos elementos nutritivos y de la transformación química de otros o simplemente por la baja biodisponibilidad de los mismos. Por lo tanto, se debe de conocer la cantidad disponible de estos elementos en las tortillas fabricadas a partir de harina, para concluir si se requiere una mayor fortificación del alimento para que sea nutritivo.

La desnutrición en Guatemala tiene un índice cada vez mayor, en el año 2009 se encontraron 3,678 casos en el Departamento de Guatemala, según el Sistema de Información Gerencial en Salud (SIGSA), pero valores más altos se pueden observar en el interior del país, especialmente en el corredor seco⁴ porque es muy susceptible a carencia de agua en el período en el que se siembran granos básicos, como el maíz, provocando pérdidas parciales o totales a productos locales (tortilla). En esta área se cuantificó 58,797 habitantes afectados, según Unidad de Operaciones Rurales (UOR) por la sequía y la falta de maíz, aproximadamente en 13 departamentos del interior del país. Por esta razón es importante verificar que la tortilla elaborada con harina de maíz fabricada industrialmente, sea un alimento nutritivo y no simplemente de relleno, para disminuir estos índices de desnutrición existentes en Guatemala.

⁴Corredor Seco: se ubica principalmente en los sectores oriental, centro y faja costera del Pacífico; tiene características climáticas de semiaridez y altas temperaturas. Abarca a 13 departamentos: Baja Verapaz, Chiquimula, El Progreso, Jalapa, Jutiapa, Retalhuleu, Santa Rosa, Suchitepéquez, Zacapa, Quiché, Huehuetenango, San Marcos y Totonicapán.

5. OBJETIVOS

5.1. *Objetivo General*

Cuantificar calcio y hierro en la tortilla elaborada con harina de maíz fabricada industrialmente, para determinar el valor nutritivo de la misma, en tortillerías de la zona 15 de la ciudad de Guatemala.

5.2. *Objetivos Específicos*

5.2.1. Determinar las características físicas como: peso y diámetro, así como porcentaje de humedad, el cual también es componente importante de la tortilla.

5.2.2. Determinar cualitativa y cuantitativamente, calcio y hierro en la tortilla elaborada con harina de maíz fabricada industrialmente, a través del método de Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama.

5.2.3. Verificar los valores de calcio y hierro obtenidos experimentalmente de muestras de tortillas elaboradas con harina de maíz fabricada industrialmente, con los valores nacionales reportados por el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP).

6. HIPÓTESIS

Los valores de Calcio y Hierro de la tortilla de harina de maíz, fabricada industrialmente, que se expenden en tortillerías de la zona 15 de la ciudad capital, son superiores a los valores de la Tabla de Composición de Alimentos para Centroamérica, (2007), del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Universo y Muestra

Universo: Tortillas elaboradas con harina de maíz fabricada industrialmente, que se expenden en tortillerías de la zona 15 de la ciudad de Guatemala.

Muestra: Tortillas elaboradas con harina de maíz fabricada industrialmente, (una sola marca reconocida en el mercado local) en 5 tortillerías de la zona 15 de la ciudad de Guatemala.

7.2. Equipo, Reactivos, Materiales y Cristalería

7.2.1. Equipo

- a. Horno de digestión asistida por microondas. Marca MILESTONE, Modelo Star D, rotor SK-12.
- b. Espectrofotómetro de Absorción y Emisión Atómica. Marca Thermo. Modelo S4, lámpara monoelemental de cátodo hueco de hierro y calcio utilizando la longitud de onda primaria de 248.3nm y 422.7nm respectivamente. Técnica utilizada: flama (de combustible enriquecida con aire-acetileno).
- c. Balanza Analítica. Marca Sartorius. Máxima capacidad: 210 g. Tolerancia: 0.1 mg.
- d. Balanza Semianalítica. Marca RADWAG. Máxima capacidad 200 g. Tolerancia: 0.001 g.
- e. Horno de secado. Marca Premlab. Capacidad: 3 pies³.
- f. Placa de calentamiento con superficie de peltre. Marca Corning.

7.2.2. Reactivos

- a. Disolución estándar de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en HNO_3 , 2-3%), 1000 mg/L.
- b. Disolución estándar de hierro ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ en HNO_3), 1000 mg/L .
- c. Ácido Nítrico 65% p/v (G.R.).
- d. Peróxido de Hidrógeno 30% p/v (G.R.).
- e. Óxido de Lantano 99% p/p (G.R.).
- f. Preparación de ácido nítrico al 2% p/v: se tomará una alícuota de 61.5 mL de una disolución de ácido nítrico al 65% p/v, se trasvasa a un balón aforado de 2 L y se afora con agua desmineralizada hasta el volumen indicado.

7.2.3. Materiales

- a. Mortero y pistilo.
- b. Baño María.
- c. Pizeta con agua destilada.
- d. Molino industrial con discos de metal.

7.2.4. Cristalería

- a. Balones aforados de 10 mL y 100 mL.
- b. Cápsulas de porcelana.
- c. Vidrios de reloj de diferentes tamaños.
- d. Varillas de agitación de vidrio de diferentes tamaños.
- e. Pipetas Pasteur.
- f. Pipetas Automáticas monocanal. Marca Brand. Con puntas (tips) de plástico (500 – 5000 μL y 100 – 1000 μL).

7.3. **Método estadístico de recolección de muestra**

7.3.1. Población: Indeterminada o infinita, entonces el muestreo es por conveniencia (por intención), seleccionando 5 tortillerías de forma aleatoria, que se encuentran en la zona 15 de la ciudad capital.

7.3.2. Unidad muestral: Se necesitan 3 tortillas para cada registro.

7.3.3. Número de réplicas: Se colectaron 12 tortillas de cada tortillería (4 registros) en cuatro ocasiones durante un mes.

7.4. **Análisis de la muestra**

7.4.1. Descriptivo de todas las variables cuantitativas (por tortillería): promedio, desviación estándar y rango.

7.4.2. Cada registro individualmente se comparó con los valores nutricionales de la Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica (INCAP) y se determinó si cumple con el valor esperado de Calcio y de Hierro, por medio de un análisis de frecuencias.

7.5. **Métodos de Laboratorio**

7.5.1. Determinación de la concentración de Calcio y de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz fabricada industrialmente.

a. Tratamiento Primario de la muestra:

- Secado: Se recolectó una muestra compuesta de 3 tortillas por análisis (cuadruplicado), se colocó en el horno para desecar las mismas hasta obtener un peso constante a una temperatura de 80°C, durante ocho horas.
- Trituración: La muestra desecada se colocó en un molino hasta obtener partículas con un tamaño aproximado de 3 mm, luego en un mortero se muelen hasta obtener partículas con un tamaño aproximado de 0.5 mm.
- Digestión: Se realizaron las digestiones de forma ácida y asistida por microondas de acuerdo a la Tabla No.6 descrita a continuación, en un horno de microondas Marca MILLESTONE modelo Star D.

Tabla No.8 “Composición de las muestras y secuencia de las etapas de digestión”

| Muestra | Masa (g) | Volumen (mL) HNO ₃ (65% p/v) | Volumen (mL) H ₂ O ₂ (30% p/v) | HORNO DE MICROONDAS | | |
|--|----------|---|--|---------------------|---------------|------------------------|
| | | | | Etapa 1 | Etapa 2 | Etapa 3 |
| Harina fabricada industrialmente para tortilla | 0.4 | 7 | 1 | 10 min a 180°C | 15min a 180°C | 30 min de enfriamiento |
| Tortilla de harina fabricada industrialmente | 0.4 | 7 | 1 | 10 min a 180°C | 15min a 180°C | 30 min de enfriamiento |

Fuente: Manual de procedimiento operativo del equipo Horno de Microondas Marca Millestone.

b. Determinación de Calcio utilizando el Espectrofotómetro de Absorción Atómica de Flama:

- Elaboración de la curva de calibración: Se tomó una alícuota de 2.50 mL de la disolución estándar de Calcio (1000 mg/L) y se colocó en un balón aforado de 100 mL (Disolución Intermedia) y se aforó al volumen indicado con una disolución de ácido nítrico al 2% p/v. Se tomó las cantidades descritas en la siguiente Tabla No. 9, para obtener las concentraciones respectivas, luego se colocó en un balón aforado de 25 mL, se agregó 5.0 mL de una disolución de óxido de lantano al 0.5% La p/v y posteriormente se aforó con ácido nítrico al 2% p/v al volumen indicado.

Tabla No. 9 “Puntos de la Curva de Calibración de Calcio”

| Alícuota de Disolución Intermedia (µL) | Concentración (mg/L) |
|---|-----------------------------|
| 100 | 0.10 |
| 250 | 0.25 |
| 400 | 0.40 |
| 600 | 0.60 |
| 800 | 0.80 |
| 1000 | 1.00 |

Fuente: Manual de procedimiento operativo del equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica de Flama Thermo. Inglaterra, 2005.

- Procedimiento de preparación de Muestra para lectura: La muestra obtenida en la digestión se colocó en una cápsula de porcelana, se calentó hasta desecar en Baño María. Se reconstituye en la cápsula de porcelana con 5.0 mL de disolución de ácido nítrico al 2% p/v, y se realizó dos lavados con 2.0 mL de ácido nítrico al 2% p/v, cada uno de los lavados se trasvasan cuantitativamente a un balón de 10 mL y por último se aforó con una disolución de ácido nítrico al 2%

p/v. De la disolución anterior se tomó una alícuota de 1.0 mL y se trasvasa a un balón de 25 mL, se le agregó 5.0 mL de una disolución de óxido de lantano al 0.5% (p/v), posteriormente se afora con una disolución de ácido nítrico al 2% p/v.

- Lectura de la muestra: Las muestras obtenidas en el procedimiento descrito anteriormente son leídas en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama, utilizando una longitud de onda de 422.7 nm.
- Cálculo de la concentración de Calcio en la tortilla con el siguiente modelo matemático:

$$\frac{c \cdot 25 \cdot FH}{m \text{ (g)}} = X \frac{\text{mg Ca}}{100 \text{ g } T_H}$$

donde:

c = Concentración de Calcio determinada por el equipo de Absorción Atómica (mg/L).

25 = Constante que incluye el factor de dilución.

m = Peso de muestra (g) utilizado en el proceso de digestión ácida asistida por horno de microondas.

FH = Factor de humedad de la tortilla.

T_H = Peso de Tortilla Húmeda

- Cálculo de Factor de Humedad de la Tortilla:

$$FH = \frac{T_H - T_S}{T_H}$$

donde:

T_S = Peso de Tortilla Seca.

- c. Determinación de Hierro utilizando el Espectrofotómetro de Absorción Atómica de Flama:

- Elaboración de la curva de calibración: Se tomó una alícuota de 2.50 mL de la disolución estándar de Hierro (1000 mg/L) y se trasvasa a un balón aforado de 100 mL (Disolución Intermedia) y se aforó al volumen indicado con una disolución de ácido nítrico al 2% p/v. Se tomó las cantidades descritas en la siguiente Tabla No. 8 para obtener las concentraciones respectivas, luego se colocó en un balón volumétrico de 25 mL y se aforó con ácido nítrico al 2% p/v al volumen indicado.

Tabla No. 10 "Puntos de la Curva de Calibración de Hierro"

| Alícuota de Disolución Intermedia (μL) | Concentración (mg/L) |
|---|----------------------|
| 500 | 0.5 |
| 1000 | 1.0 |
| 2000 | 2.0 |
| 3000 | 3.0 |
| 4000 | 4.0 |
| 5000 | 5.0 |

Fuente: Manual de procedimiento operativo del equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica de Flama Thermo. Inglaterra, 2005.

- Procedimiento de preparación de Muestra para lectura: La muestra obtenida en la digestión se colocó en una cápsula de

porcelana, se calentó hasta desecar en Baño María. Se reconstituyó en la cápsula de porcelana con 5.0 mL de disolución de ácido nítrico al 2% p/v, y se realizó dos lavados con 2.0 mL de ácido nítrico al 2% p/v, cada uno de los lavados se trasvasan cuantitativamente a un balón aforado de 10 mL y por último se aforó con una disolución de ácido nítrico al 2% p/v.

- Lectura de la muestra: Las muestras obtenidas en el procedimiento descrito anteriormente son leídas en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama, utilizando una longitud de onda de 248.3 nm.
- Cálculo de la concentración de Hierro en la tortilla con el siguiente modelo matemático:

$$\frac{c \cdot FH}{m \text{ (g)}} = X \frac{\text{mg Fe}}{100 \text{ g } T_H}$$

donde:

c = Concentración de Hierro que el equipo de Absorción Atómica detecta (mg/L).

m = Peso de muestra (g) utilizado en el proceso de digestión ácida asistida por microondas.

FH = Factor de humedad de la tortilla.

T_H = Peso de Tortilla Húmeda.

- Cálculo de Factor de Humedad de la Tortilla:

$$FH = \frac{T_H - T_S}{T_H}$$

donde:

T_S = Peso de Tortilla Seca.

7.5.2. Determinación del porcentaje de humedad (método gravimétrico):

Se adquiere la muestra de tortillas en cada una de las tortillerías, luego se transporta inmediatamente en bolsas herméticas al laboratorio para pesar las muestras sobre una base de poliestireno expansible (es una forma de aislar el calor) en una balanza semianalítica. Después se colocan en un horno a una temperatura de 80°C, durante 8 horas⁵, posterior a esto se colocan en una desecadora para enfriar a temperatura ambiente, y después de 1 hora se pesa en la balanza semianalítica, entonces se determina el porcentaje de humedad con el siguiente modelo matemático:

$$\text{Porcentaje de Humedad} = \frac{\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco} \times 100}{\text{Peso Húmedo}}$$

⁵Se realiza durante 8 horas, ya que se realizó pruebas preliminares para determinar el peso constante de las muestras a 80°C.

8. RESULTADOS

Interpretación: Los valores de la Tabla No. 11 y Gráfica No. 1 indican que la concentración de calcio durante el primer muestreo en las diferentes tortillerías está por debajo del valor de referencia.

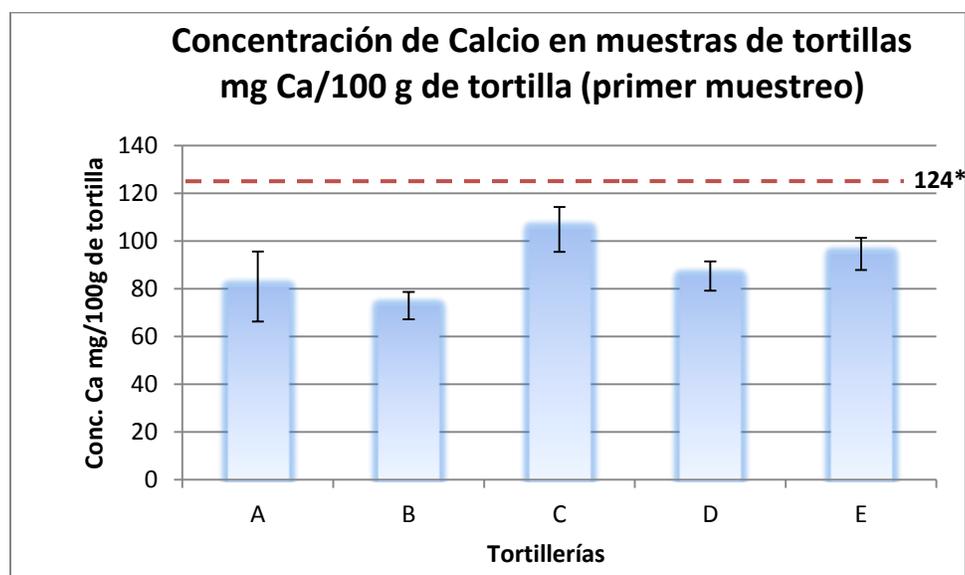
Tabla No.11 “Concentración de Calcio en tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el primer muestreo”.

| MUESTREO No.1 | | | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------|--|----------|----------------|------------------------|------------------------|
| Tortillería | Promedio Concentración Ca (mg/100g)* | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) | Peso (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Promedio Diámetro (cm) |
| A | 80.90 ±36.53 | 14.71 | 18.18% | 63.30 | 0.53 | 47.29% | 9.3 |
| B | 72.93 ±9.14 | 5.74 | 7.88% | 74.35 | 0.49 | 51.04% | 9.4 |
| C | 104.84 ±23.47 | 9.45 | 9.01% | 57.30 | 0.55 | 45.28% | 9.3 |
| D | 85.37 ±9.74 | 6.12 | 7.17% | 51.68 | 0.51 | 50.84% | 9.2 |
| E | 94.58 ±10.8 | 6.79 | 7.18% | 88.72 | 0.50 | 50.13% | 10.2 |

Fuente: Datos experimentales.

*NOTA: Los valores promedio se acompañan de un intervalo de confianza al 95%, utilizando 4 réplicas.

Gráfica No.1 “Concentración de Calcio en muestras de tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el primer muestreo”



Fuente: Datos experimentales.

*Nota: La concentración de Calcio según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 124 mg / 100 g tortilla.

Interpretación: Los valores de la Tabla No. 12 y Gráfica No. 2 indican que la concentración de calcio durante el segundo muestreo en las diferentes tortillerías está por debajo del valor de referencia.

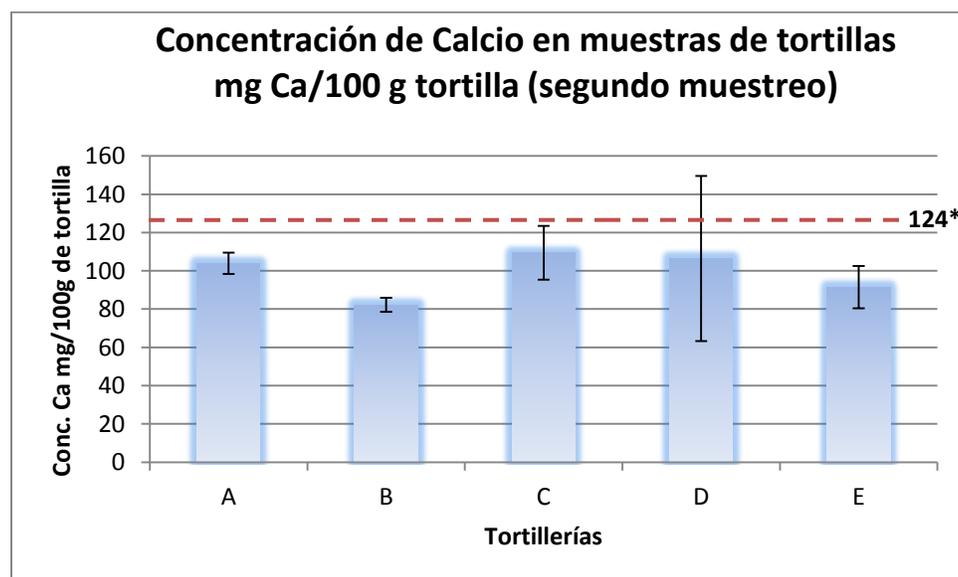
Tabla No.12 “Concentración de Calcio en tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el segundo muestreo”.

| MUESTREO No.2 | | | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------|--|----------|----------------|------------------------|------------------------|
| Tortillería | Promedio Concentración Ca (mg/100g)* | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) | Peso (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Promedio Diámetro (cm) |
| A | 103.94 ±8.86 | 5.57 | 5.36% | 59.08 | 0.50 | 50.31% | 9.2 |
| B | 82.21 ±5.77 | 3.62 | 4.41% | 66.06 | 0.49 | 50.82% | 9.3 |
| C | 109.42 ±34.83 | 14.02 | 12.81% | 57.14 | 0.54 | 46.50% | 9.3 |
| D | 106.45 ±68.61 | 43.12 | 40.51% | 56.22 | 0.49 | 48.70% | 9.3 |
| E | 91.42 ±17.56 | 11.03 | 12.07% | 93.99 | 0.48 | 51.76% | 10.1 |

Fuente: Datos experimentales.

*NOTA: Los valores promedio se acompañan de un intervalo de confianza al 95%, utilizando 4 réplicas.

Gráfica No.2 “Concentración de Calcio en muestras de tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el segundo muestreo”.



Fuente: Datos Experimentales.

*Nota: La concentración de Calcio según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 124 mg / 100 g tortilla.

Interpretación: Los valores de la Tabla No. 13 y Gráfica No. 3 indican que la concentración de calcio durante el tercer muestreo en las diferentes tortillerías está por debajo del valor de referencia.

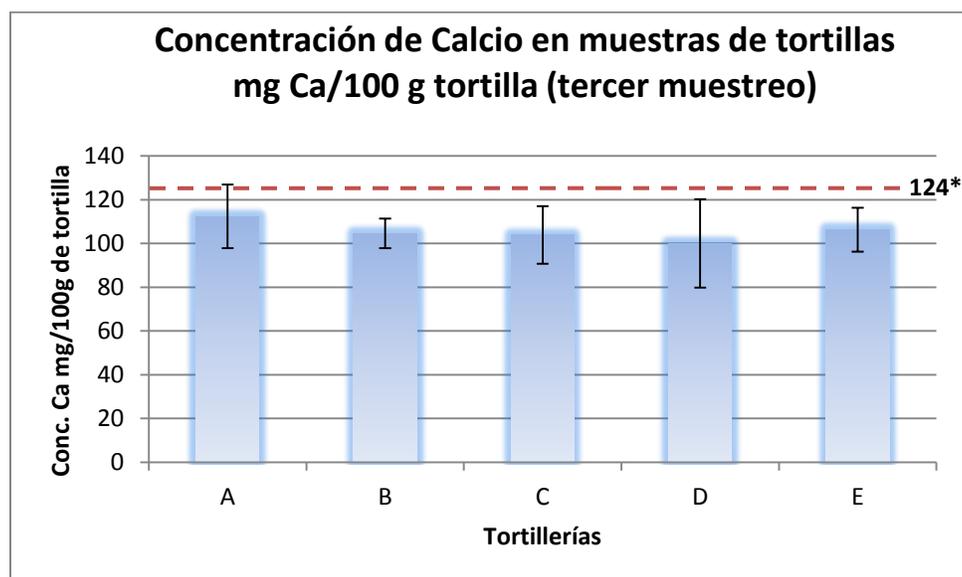
Tabla No.13 “Concentración de Calcio en tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el tercer muestreo”.

| MUESTREO No.3 | | | | | | | |
|---------------|--|-------------------------------|---|-------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| Tortillería | Promedio Concentración Ca (mg/100g)* | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) | Peso (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Promedio Diámetro (cm) |
| A | 112.43 ±23.09 | 14.51 | 12.91% | 58.09 | 0.54 | 45.62% | 9.0 |
| B | 104.62 ±10.68 | 6.71 | 6.42% | 61.87 | 0.53 | 46.67% | 9.3 |
| C | 103.90 ±20.98 | 13.18 | 12.69% | 56.19 | 0.54 | 46.33% | 9.1 |
| D | 100.03 ±32.28 | 20.29 | 20.28% | 86.12 | 0.48 | 48.17% | 10.7 |
| E | 106.31 ±15.97 | 10.03 | 9.44% | 85.43 | 0.52 | 48.25% | 10.2 |

Fuente: Datos experimentales.

*NOTA: Los valores promedio se acompañan de un intervalo de confianza al 95%, utilizando 4 réplicas.

Gráfica No.3 “Concentración de Calcio en muestras de tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el tercer muestreo”.



Fuente: Datos experimentales.

*Nota: La concentración de Calcio según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 124 mg / 100 g tortilla.

Interpretación: Los valores de la Tabla No. 14 y Gráfica No. 4 indican que la concentración de calcio durante el cuarto muestreo en las tortillerías A, D y E están superiores al valor de referencia, mientras que las tortillerías B y C está por debajo del valor de referencia.

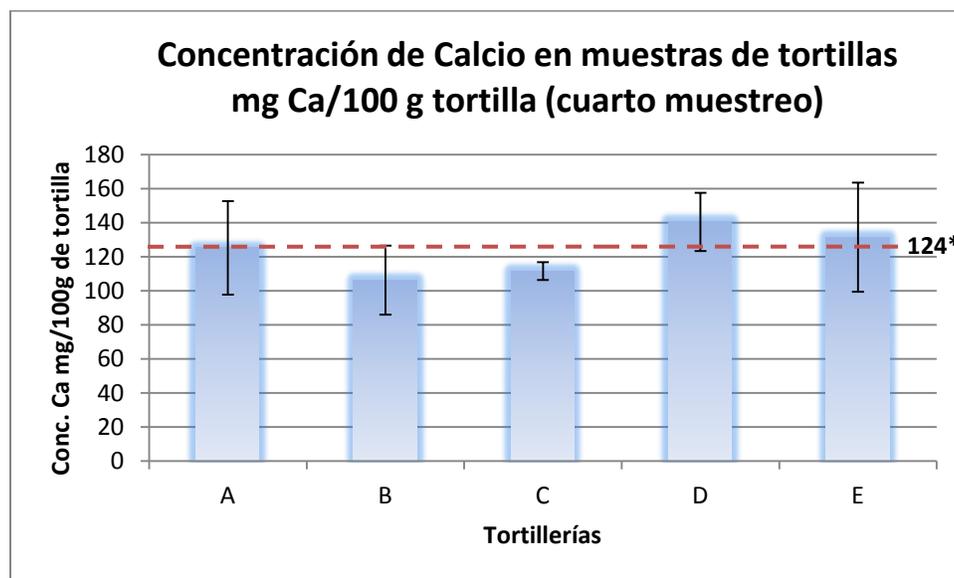
Tabla No.14 “Concentración de Calcio en tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el cuarto muestreo”.

| MUESTREO No.4 | | | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------|--|----------|----------------|------------------------|------------------------|
| Tortillería | Promedio Concentración Ca (mg/100g)* | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) | Peso (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Promedio Diámetro (cm) |
| A | 125.24 ±43.75 | 27.50 | 21.96% | 57.53 | 0.52 | 48.18% | 9.2 |
| B | 106.26 ±32.17 | 20.22 | 19.03% | 70.30 | 0.52 | 48.17% | 9.6 |
| C | 111.53 ±8.36 | 5.26 | 4.71% | 56.18 | 0.53 | 47.15% | 9.2 |
| D | 140.55 ±27.28 | 17.14 | 12.20% | 93.83 | 0.51 | 50.68% | 11.2 |
| E | 131.55 ±51.00 | 32.05 | 24.37% | 94.77 | 0.47 | 53.38% | 10.4 |

Fuente: Datos experimentales.

*NOTA: Los valores promedio se acompañan de un intervalo de confianza al 95%, utilizando 4 réplicas.

Gráfica No.4 “Concentración de Calcio en muestras de tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el cuarto muestreo”.



Fuente: Datos experimentales.

*Nota: La concentración de Calcio según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 124 mg / 100 g tortilla.

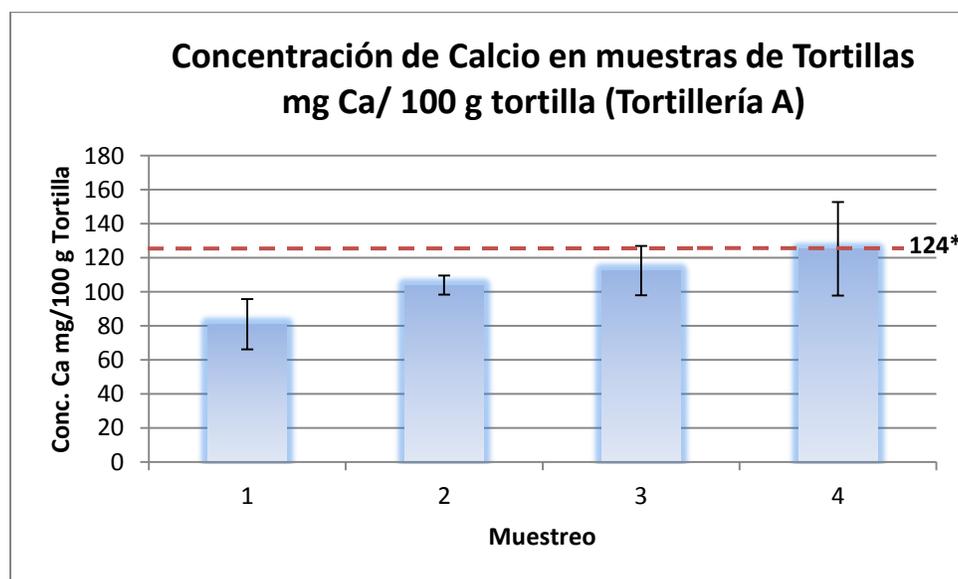
Interpretación: Los valores de la Gráfica No. 5 indican que la concentración de calcio en la tortillería A durante los muestreos 1, 2 y 3 el valor es por debajo del valor de referencia, mientras que en el muestreo 4 está superior al valor de referencia.

Tabla No. 15 “Concentración de Calcio en tortillas elaboradas con harina de maíz, en las 5 tortillerías durante los 4 muestreos”.

| TABLA RESUMEN CALCIO | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE CALCIO EN TORTILLAS (Ca mg/100 g Tortilla) | | | | | |
| | Tortillería A | Tortillería B | Tortillería C | Tortillería D | Tortillería E |
| Muestreo 1 | 80.90 ±36.53 | 72.93 ±9.14 | 104.84 ±23.47 | 85.37 ±9.74 | 94.58 ±10.80 |
| Muestreo 2 | 103.94 ±8.86 | 82.21 ±5.77 | 109.42 ±34.83 | 106.45 ±68.61 | 91.92 ±17.56 |
| Muestreo 3 | 112.43 ±23.09 | 104.62 ±10.68 | 103.90 ±20.98 | 100.03 ±32.28 | 106.31 ±15.97 |
| Muestreo 4 | 125.24 ±43.75 | 106.26 ±32.17 | 111.53 ±8.36 | 140.55 ±27.28 | 131.55 ±51.00 |

Fuente: Datos experimentales.

Gráfica No.5 “Concentración de Calcio en muestras de tortillas elaboradas con harina de maíz, muestreadas en la tortillería A durante los 4 diferentes muestreos.

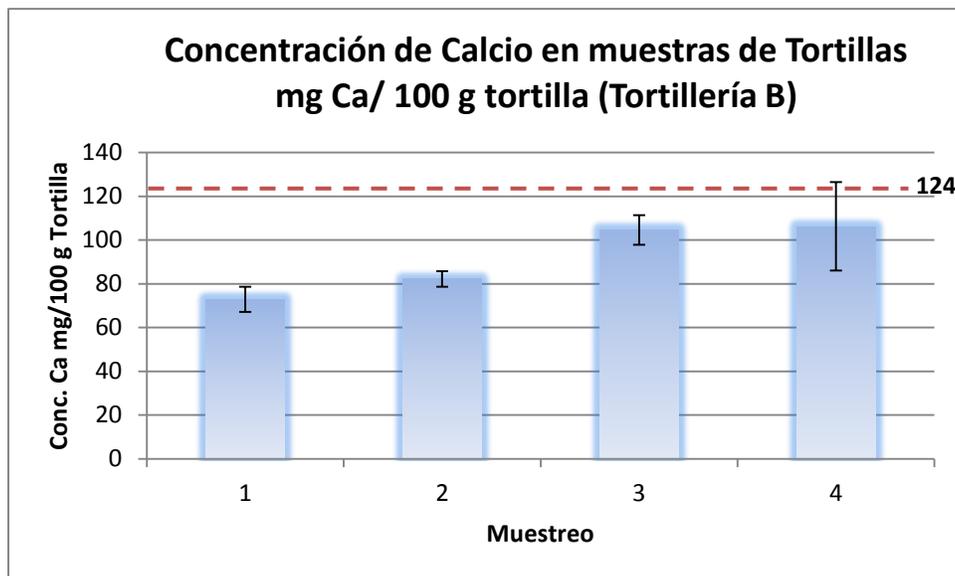


Fuente: Datos experimentales.

*Nota: La concentración de Calcio según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 124 mg / 100 g tortilla.

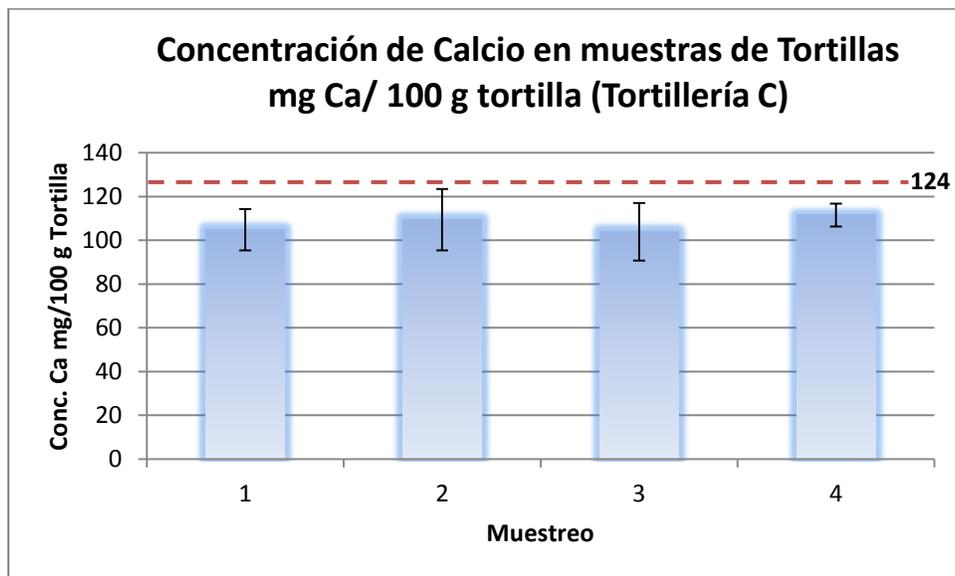
Interpretación: Las Gráficas No.6 y 7 indican que la concentración de Calcio en la Tortillería B y C durante los cuatro muestreos está por debajo del valor de referencia.

Gráfica No.6 “Concentración de Calcio en tortillas elaboradas con harina de maíz, muestreadas en la tortillería B durante los 4 diferentes muestreos”.



Fuente: Datos experimentales⁶.

Gráfica No.7 “Concentración de Calcio en tortillas elaboradas con harina de maíz, muestreadas en la tortillería C durante los 4 diferentes muestreos”.

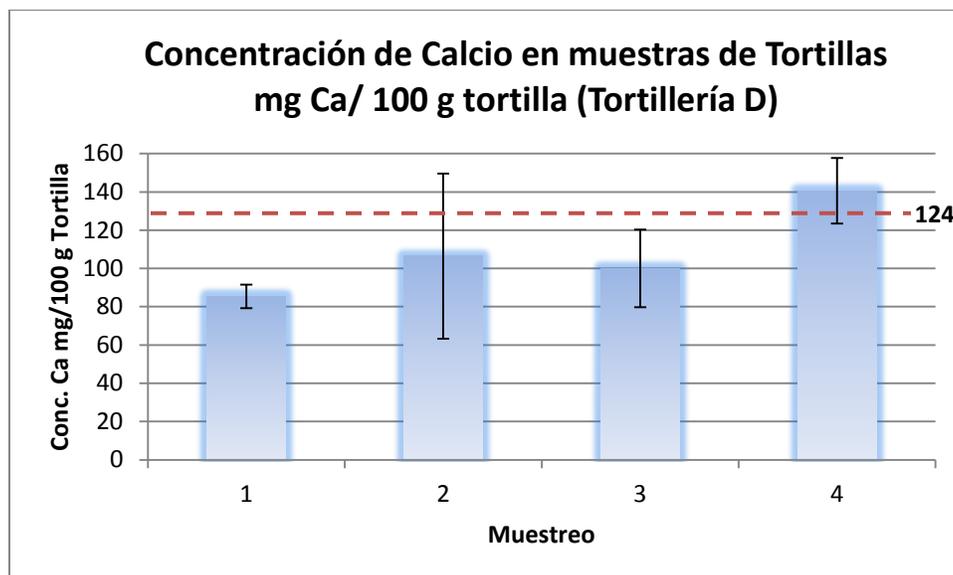


Fuente: Datos experimentales⁶.

⁶ Nota: La concentración de Calcio según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 124 mg / 100 g tortilla.

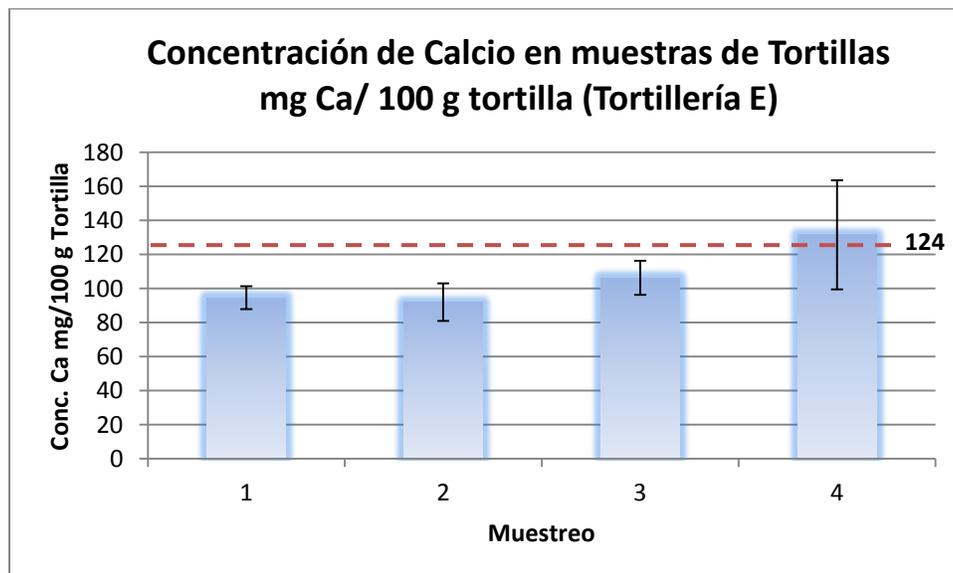
Interpretación: Las Gráficas No.8 y 9 indican que la concentración de Calcio en la Tortillería D y E durante los muestreos 1, 2 y 3 están por debajo del valor de referencia, mientras que durante el muestreo 4 el valor es superior al valor de referencia.

Gráfica No.8 "Concentración de Calcio en tortillas elaboradas con harina de maíz, muestreadas en la tortillería D durante los 4 diferentes muestreos.



Fuente: Datos experimentales⁷.

Gráfica No.9 "Concentración de Calcio en tortillas elaboradas con harina de maíz, muestreadas en la tortillería E durante los 4 diferentes muestreos.



Fuente: Datos experimentales⁷.

⁷ Nota: La concentración de Calcio según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 124 mg / 100 g tortilla.

Interpretación: Los valores de la Tabla No. 16 y Gráfica No. 10 indican que la concentración de hierro durante el primer muestreo en las diferentes tortillerías es superior al valor de referencia.

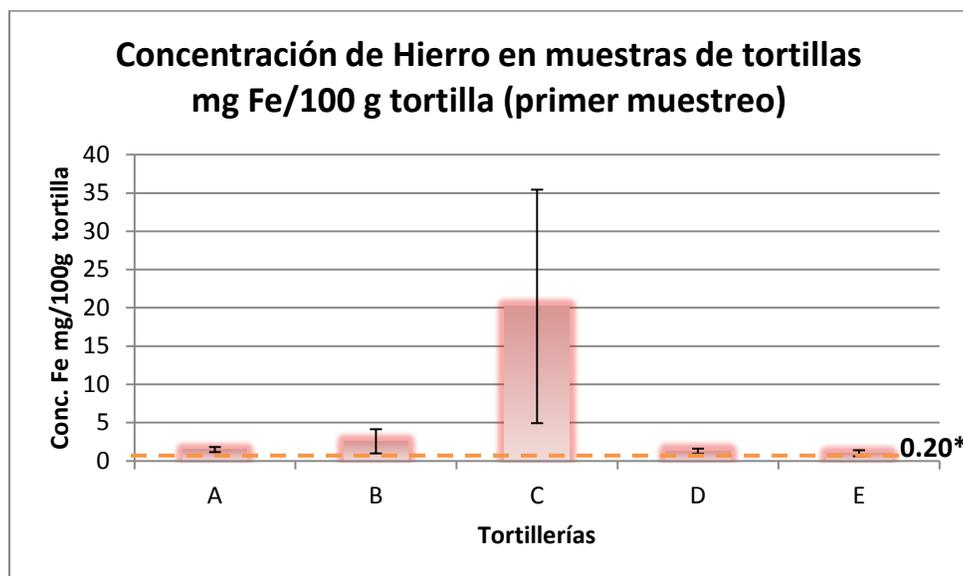
Tabla No.16 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el primer muestreo”.

| MUESTREO No.1 | | | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------|--|-------------------|----------------|------------------------|------------------------|
| Tortillería | Promedio Concentración Fe (mg/100g)* | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) | Promedio Peso (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Promedio Diámetro (cm) |
| A | 1.47 ±0.83 | 0.33 | 22.74% | 63.30 | 0.53 | 47.29% | 9.3 |
| B | 2.56 ±2.52 | 1.58 | 61.83% | 74.35 | 0.49 | 51.04% | 9.4 |
| C | 20.20 ±24.28 | 15.26 | 75.53% | 57.30 | 0.55 | 45.28% | 9.3 |
| D | 1.26 ±0.51 | 0.32 | 25.39% | 51.68 | 0.49 | 50.84% | 9.2 |
| E | 0.99 ±0.62 | 0.39 | 39.32% | 88.72 | 0.50 | 50.13% | 10.2 |

Fuente: Datos experimentales.

*NOTA: Los valores promedio se acompañan de un intervalo de confianza al 95%, utilizando 4 réplicas.

Gráfica No.10 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el primer muestreo”.



Fuente: Datos experimentales.

*Nota: La concentración de Hierro según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 0.20 mg / 100 g tortilla.

Interpretación: Los valores de la Tabla No. 17 y Gráfica No. 11 indican que la concentración de hierro durante el segundo muestreo en las diferentes tortillerías es superior al valor de referencia.

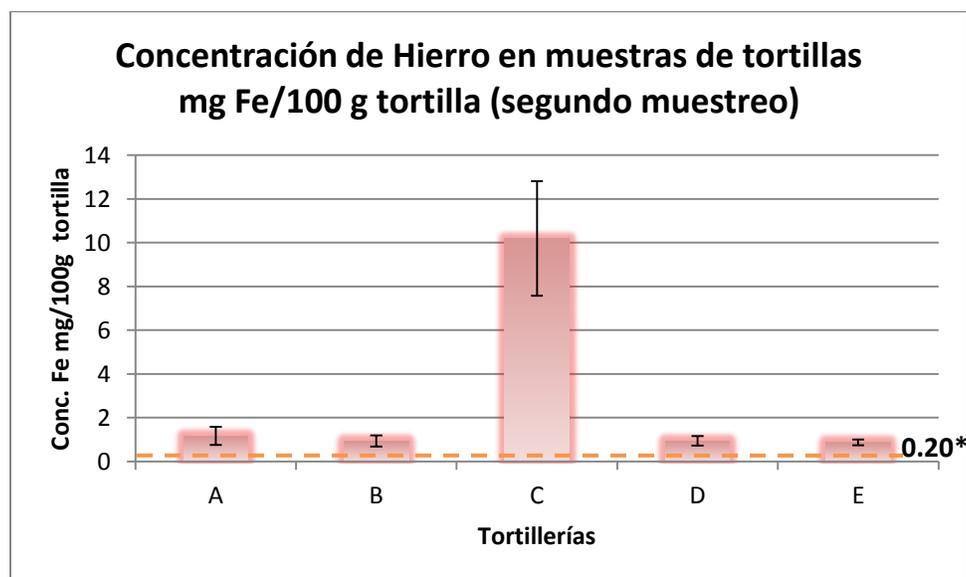
Tabla No.17 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el segundo muestreo”.

| MUESTREO No.2 | | | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------|--|-------------------|----------------|------------------------|------------------------|
| Tortillería | Promedio Concentración Fe (mg/100g)* | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) | Promedio Peso (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Promedio Diámetro (cm) |
| A | 1.16 ±0.66 | 0.41 | 35.72% | 59.08 | 0.50 | 50.31% | 9.2 |
| B | 0.93 ±0.40 | 0.25 | 27.10% | 66.06 | 0.49 | 50.82% | 9.3 |
| C | 10.19 ±4.17 | 2.62 | 25.71% | 57.14 | 0.54 | 46.50% | 9.3 |
| D | 0.94 ±0.35 | 0.22 | 23.68% | 56.22 | 0.51 | 48.70% | 9.3 |
| E | 0.87 ±0.20 | 0.13 | 14.70% | 93.99 | 0.48 | 51.76% | 10.1 |

Fuente: Datos experimentales.

*NOTA: Los valores promedio se acompañan de un intervalo de confianza al 95%, utilizando 4 réplicas.

Gráfica No.11 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el segundo muestreo”.



Fuente: Datos experimentales.

*Nota: La concentración de Hierro según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 0.20 mg / 100 g tortilla.

Interpretación: Los valores de la Tabla No. 18 y Gráfica No. 12 indican que la concentración de hierro durante el tercer muestreo en las diferentes tortillerías es superior al valor de referencia.

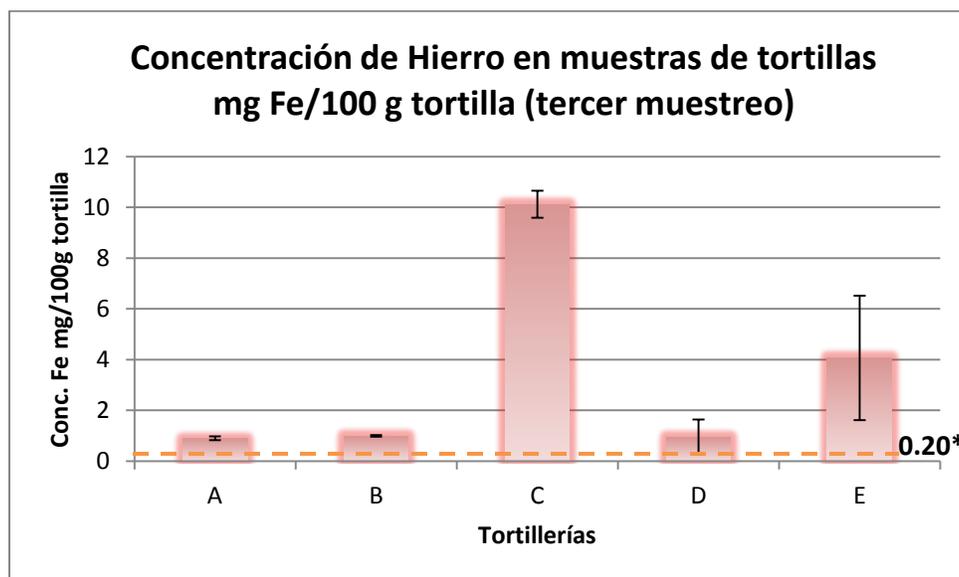
Tabla No.18 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el tercer muestreo”.

| MUESTREO No.3 | | | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------|--|-------------------|----------------|------------------------|------------------------|
| Tortillería | Promedio Concentración Fe (mg/100g)* | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) | Promedio Peso (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Promedio Diámetro (cm) |
| A | 0.90 ±0.20 | 0.08 | 8.93% | 58.09 | 0.54 | 45.62% | 9.0 |
| B | 0.99 ±0.05 | 0.03 | 3.42% | 61.87 | 0.53 | 46.67% | 9.3 |
| C | 10.13 ±0.85 | 0.54 | 5.29% | 56.19 | 0.54 | 46.33% | 9.1 |
| D | 0.95 ±1.10 | 0.69 | 72.40% | 86.12 | 0.52 | 48.17% | 10.7 |
| E | 4.07 ±3.90 | 2.45 | 60.23% | 85.43 | 0.52 | 48.25% | 10.2 |

Fuente: Datos experimentales.

*NOTA: Los valores promedio se acompañan de un intervalo de confianza al 95%, utilizando 4 réplicas.

Gráfica No.12 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el tercer muestreo”.



Fuente: Datos experimentales.

*Nota: La concentración de Hierro según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 0.20 mg / 100 g tortilla.

Interpretación: Los valores de la Tabla No. 19 y Gráfica No. 13 indican que la concentración de hierro durante el cuarto muestreo en las diferentes tortillerías es superior al valor de referencia.

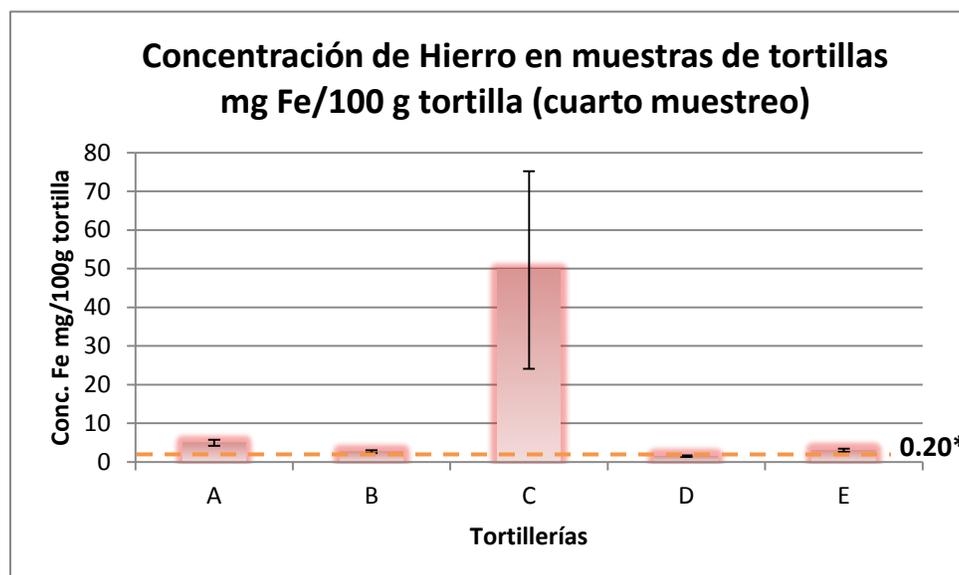
Tabla No.19 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el cuarto muestreo”.

| MUESTREO No.4 | | | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------|--|-------------------|----------------|------------------------|------------------------|
| Tortillería | Promedio Concentración Fe (mg/100g)* | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) | Promedio Peso (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Promedio Diámetro (cm) |
| A | 4.93 ±1.22 | 0.77 | 15.54% | 57.53 | 0.52 | 48.18% | 9.2 |
| B | 2.65 ±0.58 | 0.36 | 13.69% | 70.30 | 0.52 | 48.17% | 9.6 |
| C | 49.65 ±40.66 | 25.55 | 51.46% | 56.18 | 0.53 | 47.15% | 9.2 |
| D | 1.49 ±0.53 | 0.21 | 14.33% | 93.83 | 0.49 | 50.68% | 11.2 |
| E | 3.01 ±0.68 | 0.43 | 14.28% | 94.77 | 0.47 | 53.38% | 10.4 |

Fuente: Datos experimentales.

*NOTA: Los valores promedio se acompañan de un intervalo de confianza al 95%, utilizando 4 réplicas.

Gráfica No.13 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, durante el cuarto muestreo”.



Fuente: Datos experimentales.

*Nota: La concentración de Hierro según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 0.20 mg / 100 g tortilla.

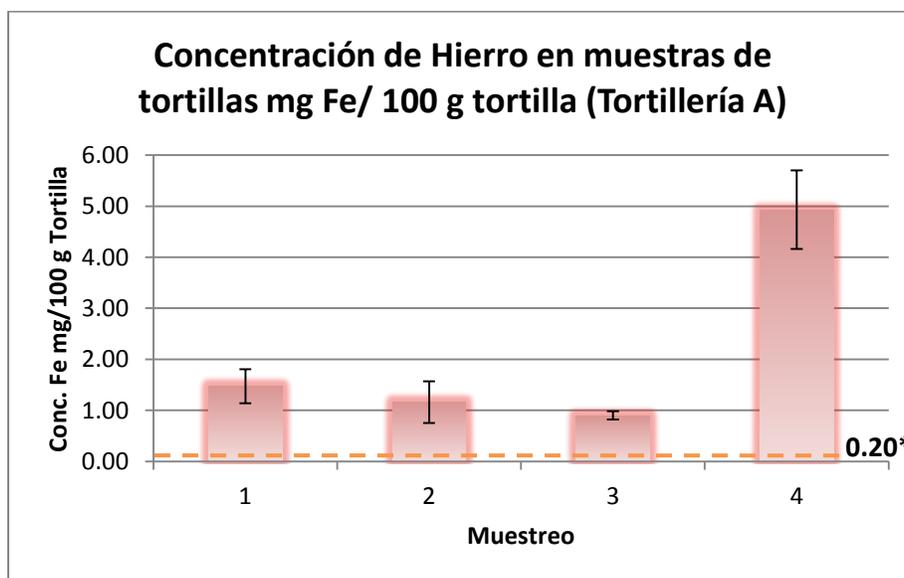
Interpretación: Los valores de la Gráfica No. 14 indican que la concentración de hierro en la tortillería A durante los diferentes muestreos es superior al valor de referencia.

Tabla No. 20 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, en las 5 tortillerías durante los 4 muestreos”.

| TABLA RESUMEN HIERRO | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE HIERRO EN TORTILLAS (Fe mg/100 g Tortilla) | | | | | |
| | Tortillería A | Tortillería B | Tortillería C | Tortillería D | Tortillería E |
| Muestreo 1 | 1.47 ±0.83 | 2.56 ±2.52 | 20.20 ±24.28 | 1.26 ±0.51 | 0.99 ±0.62 |
| Muestreo 2 | 1.16 ±0.66 | 0.93 ±0.40 | 10.19 ±4.17 | 0.94 ±0.35 | 0.87 ±0.20 |
| Muestreo 3 | 0.90 ±0.20 | 0.99 ±0.05 | 10.13 ±0.85 | 0.95 ±1.10 | 4.07 ±3.90 |
| Muestreo 4 | 4.93 ±1.22 | 2.65 ±0.58 | 49.65 ±40.66 | 1.19 ±0.53 | 3.01 ±0.68 |

Fuente: Datos experimentales.

Gráfica No.14 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, muestreadas en la tortillería A durante los 4 diferentes muestreos”.

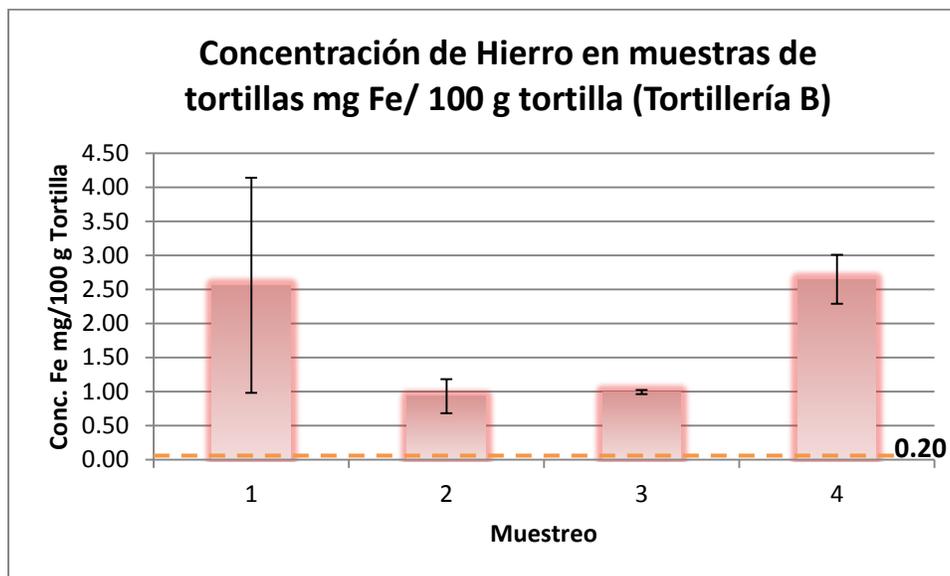


Fuente: Datos experimentales.

*Nota: La concentración de Hierro según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 0.20 mg / 100 g tortilla.

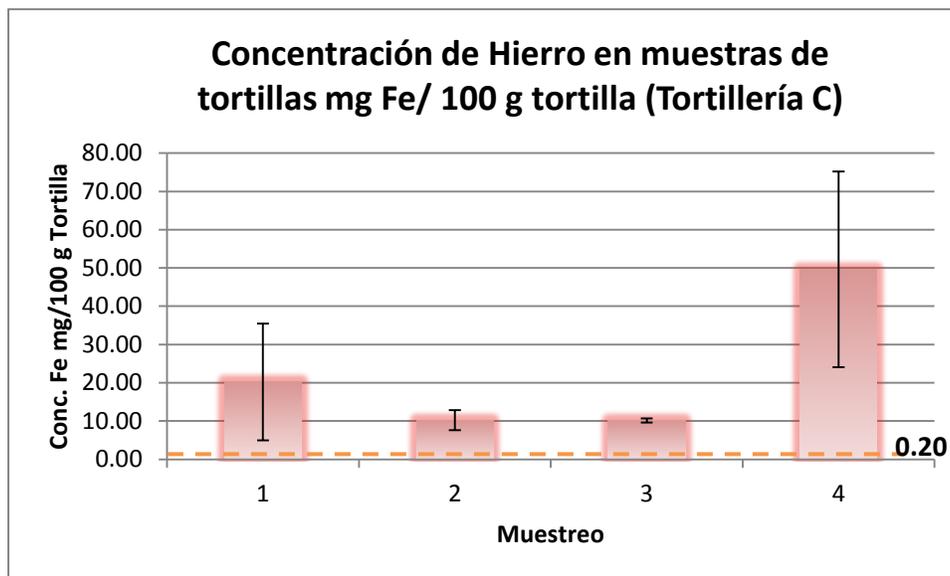
Interpretación: Los valores de la Gráfica No. 15 y 16 indican que la concentración de hierro en la tortillería B y C durante los diferentes muestreos es superior al valor de referencia. Sin embargo, las muestras de la tortillería C, probablemente estén contaminados con el mineral.

Gráfica No.15 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, muestreadas en la tortillería B durante los 4 diferentes muestreos.



Fuente: Datos experimentales⁸.

Gráfica No.16 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, muestreadas en la tortillería C durante los 4 diferentes muestreos.

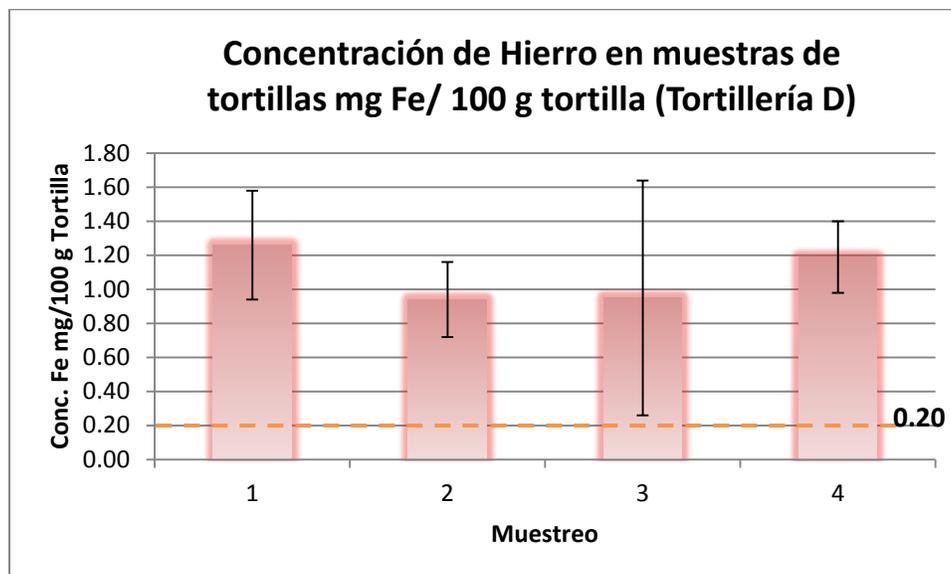


Fuente: Datos experimentales⁸.

⁸ Nota: La concentración de Hierro según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 0.20 mg / 100 g tortilla.

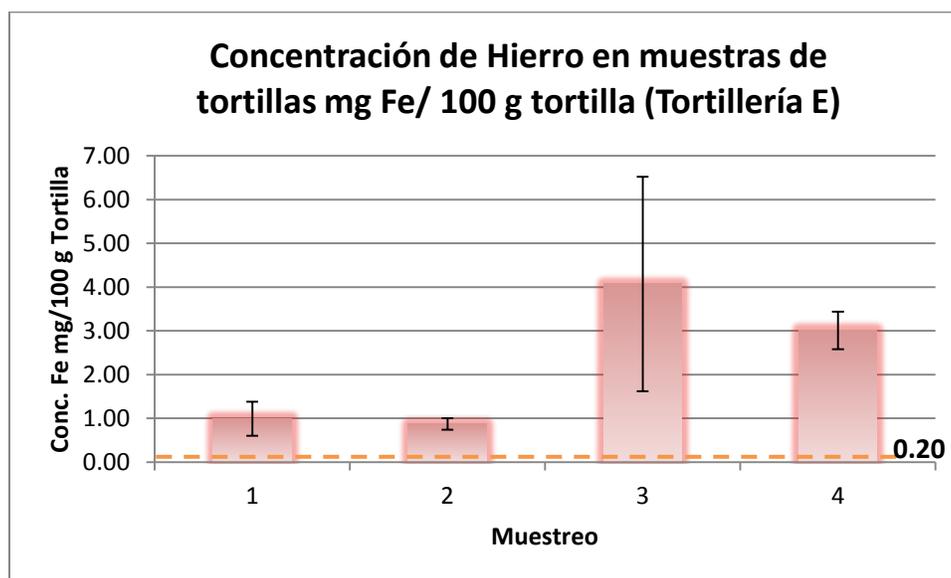
Interpretación: Los valores de la Gráfica No. 17 y 18 indican que la concentración de hierro en la tortillería D y E durante los diferentes muestreos es superior al valor de referencia.

Gráfica No.17 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, muestreadas en la tortillería D durante los 4 diferentes muestreos.



Fuente: Datos experimentales⁹.

Gráfica No.18 “Concentración de Hierro en tortillas elaboradas con harina de maíz, muestreadas en la tortillería E durante los 4 diferentes muestreos.



Fuente: Datos experimentales⁹.

⁹ Nota: La concentración de Hierro según la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP, en muestras de tortillas de maíz blanco es de 0.20 mg / 100 g tortilla.

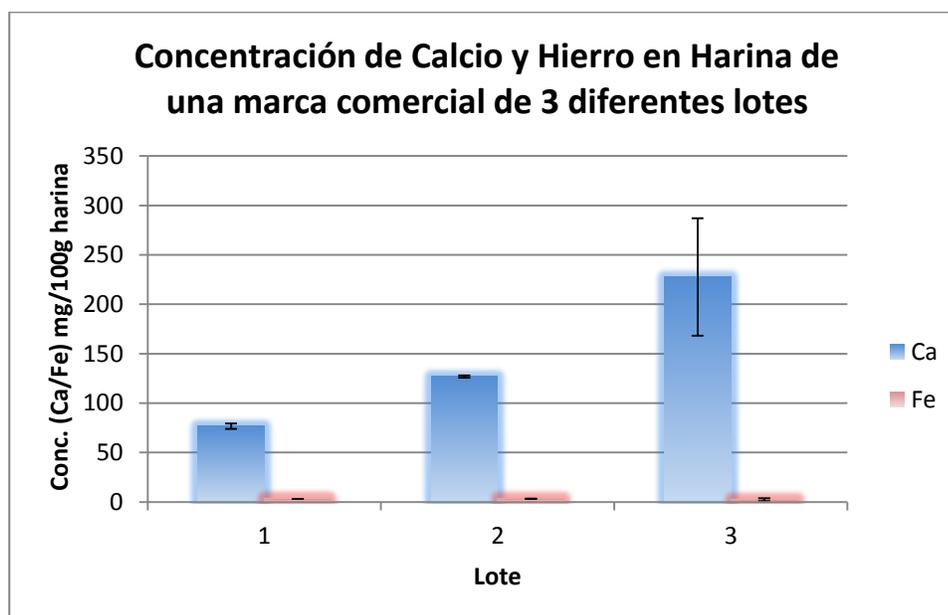
Interpretación: La Tabla No.21 y Gráfica No.19 indican la concentración de Calcio y Hierro en 3 diferentes lotes de una marca comercial, los cuales indican que son superiores al valor de referencia, excepto en la concentración de Calcio en el primer lote, el cual está por debajo del valor de referencia.

Tabla No.21 “Concentración de Calcio y Hierro en harina de maíz de una marca comercial en tres lotes diferentes”.

| HARINA DE UNA MARCA COMERCIAL | | | |
|---|----------------|-------------|--------------|
| Promedio Concentración mg (Ca/Fe)/100g harina | | | |
| | Número de Lote | | |
| | 1 | 2 | 3 |
| Ca | 76.58±4.34 | 126.90±3.52 | 227.49±70.43 |
| Fe | 3.06±0.17 | 3.31±0.74 | 2.29±0.89 |

Fuente: Datos experimentales.

Gráfica No. 19 “Concentración de Calcio y Hierro en harina de maíz de tres lotes diferentes”.



Fuente: Datos experimentales.

Interpretación: El 13% de las muestras analizadas de Calcio son con valores superiores al valor de referencia, mientras que el 87% está por debajo del valor de referencia; todas las muestras de Hierro son superiores al valor de referencia.

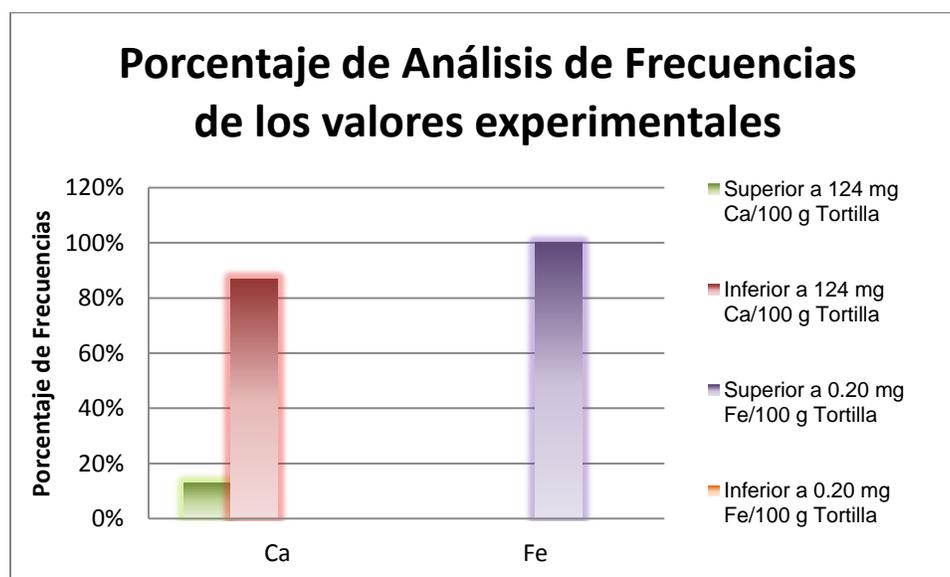
Tabla No.22 “Análisis de Frecuencias de los resultados experimentales de muestras de tortilla comparados con los valores reportados en la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP” (Menchú & Méndez, 2007).

| Valor reportado de Ca (124mg) y Fe (0.20mg) / 100g de tortillas de maíz blanco, según Tabla de Composición de Alimentos del INCAP | No. Muestras de Tortilla | | | |
|---|--------------------------|------------|------------|------------|
| | Ca | % | Fe | % |
| Superior al valor | 10 | 13 | 77 | 100 |
| Inferior al valor | 67 | 87 | 0 | 0 |
| Total Muestras | 77* | 100 | 77* | 100 |

Fuente: Datos experimentales.

*NOTA: Se realizó tratamiento estadístico, por medio de la prueba de Grubbs, donde se eliminaron tres muestras de Calcio y tres muestras de Hierro.

Gráfica No. 20 “Análisis de Frecuencias de los resultados experimentales comparados con los valores reportados en la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP”.



Fuente: Datos experimentales.

9. DISCUSIÓN

Las tortillerías incluidas en esta investigación están ubicadas en la zona 15 de la ciudad de Guatemala, en las cuales se logró observar que la materia prima utilizada fue harina de maíz industrial de una marca comercial. El proceso posterior de fabricación de las tortillas es realizado de forma artesanal, ya que las tortillas son elaboradas de forma manual, aunque la materia prima utilizada sea de origen industrial.

Se determinó el peso y el diámetro como las características físicas más importantes de las tortillas, los resultados se pueden consultar de la Tabla No. 9 a la Tabla No.12. Donde se puede apreciar una marcada diferencia entre cada tortillería. Esto demuestra que no existe homogeneidad en la fabricación de las tortillas, sin embargo en una misma tortillería, las características son similares, debido a que en general las tortillas son elaboradas con procedimiento de fabricación bajo tradiciones familiares, donde la rotación del personal es baja y se mantiene de generación en generación.

El porcentaje de humedad determinado, es similar en todas las muestras, lo que indica que hay un porcentaje de agua necesario para obtener el producto totalmente cocido. Donde el valor promedio experimental, considerando todas las muestras evaluadas, es de 48.8% p/p y que comparado con el valor del porcentaje de humedad reportado en la Tabla de composición de alimentos para Centroamérica, del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), en tortillas elaboradas con maíz blanco nixtamalizado, el valor es de 47.8% p/p, se puede afirmar que son valores similares. Por otro lado, se puede observar que tampoco modifica los resultados si las tortillas son elaboradas por diferentes individuos, ya que los resultados son similares en las diferentes tortillerías y diferentes tiempos de muestreo.

Se determinó calcio y hierro cuantitativamente, en muestras de tortillas elaboradas con harina de maíz fabricada industrialmente, en donde se puede observar que todas las muestras de tortillas incluidas en esta investigación contienen estos

minerales. El procedimiento consistió en la colección de muestras de tortillas, tratamiento de la muestra y por último la determinación de los metales a través de Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama. Finalmente, los resultados experimentales fueron comparados con los resultados de la tabla reportados por el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), los cuales se pueden observar en la Tabla No. 22, en donde el 13% de los valores experimentales de calcio se encuentran superior al valor reportado en la tabla del INCAP, y el 87% de las muestras se encuentra por debajo del valor reportado. Así mismo, se puede observar que el 100% de los valores experimentales de hierro se encuentran superiores al valor reportado en la tabla de referencia del INCAP.

En la Tabla No. 14 y Gráfica No. 4, se puede observar que en la tortillería A, D y E durante el muestreo No. 4 poseen valores promedio de Calcio superiores al valor de la Tabla del INCAP (124 mg de Calcio/ 100 g de tortilla). También se puede confirmar con la Tabla No. 15, resumen de la concentración de Calcio en los diferentes muestreos y tortillerías, que en el muestreo No. 4, la tortillería A, D y E tienen valores superiores al valor de referencia (Ver Gráfica No. 5, 8 y 9). El bajo contenido de Calcio en las tortillas se relaciona directamente con el lavado cuidadoso y completo del nixtamal luego de la cocción en la disolución alcalina, sin embargo, la concentración de Calcio sí aumenta, a pesar de la disminución mencionada anteriormente. Es decir, que la harina industrializada lleva un lavado cuidadoso y extenso durante el proceso de tal manera que se elimina el exceso de cal utilizada durante la cocción alcalina, por lo tanto esto puede provocar que este tipo de harina para la elaboración de tortillas tenga menor concentración de Calcio que la tortilla elaborada con masa nixtamalizada de forma tradicional. Por otra parte es importante mencionar que durante la molienda ocurre un cambio en el contenido de minerales, en la cual también puede disminuir la cantidad de Calcio en el producto final, es decir, en la tortilla. Sin embargo, aunque los valores de Calcio obtenidos experimentalmente, en su mayoría son menores a los valores de la Tabla del INCAP, también pueden ser una fuente de Calcio para la población, a través del consumo de tortillas elaboradas con harina industrializada.

Con referencia al Hierro en las muestras de tortillas, todos los valores promedio, están superiores al valor de referencia (0.20 mg de Hierro/ 100 g de tortilla), es decir, el 100% de las muestras cumplen (se puede observar en las tablas No. 16 – 20 y en las Gráficas No. 10 – 18). Sin embargo, en la tortillería C se observó valores muy elevados, esto se puede explicar con una posible contaminación de Hierro en alguna etapa del proceso de fabricación de las tortillas. Las posibles causas pueden ser: que utilicen recipientes de almacenaje de agua oxidados y por consiguiente se contamina el agua utilizada para la elaboración de estas tortillas, que el comal utilizado para la cocción de las tortillas sea de metal, por consiguiente se contaminan las mismas. Según la literatura consultada, no hay intoxicación por este mineral en los alimentos.

A partir de la fortificación de alimentos se mejora el valor nutritivo, en este caso se está utilizando la tortilla como vehículo para mejorar la ingesta de Hierro en la mayoría de la población guatemalteca porque este alimento es altamente consumido por la población, los principales factores que interfieren con la baja disponibilidad de Hierro en el maíz son la presencia del ácido fítico y la fibra dietética, ya que el primero tiene alta afinidad para atrapar el Hierro y el segundo elemento tiene la capacidad de quelar el Hierro, por lo tanto es importante fortificar la harina industrializada para que la tortilla sea el vehículo ideal para que la población mejore la ingesta de este mineral.

Se cuantificó calcio y hierro en tres lotes diferentes de harina fabricada industrialmente de una marca comercial, esto con el fin de verificar que la misma cumpliera con los valores reportados en la etiqueta del producto, lo cual se puede observar en la tabla No. 21 y en la Gráfica No. 19, que los tres lotes de harinas tienen valores superiores a los reportados en la etiqueta del producto. Los valores promedio de Calcio son diferentes en cada lote, esto indica que hay variabilidad en la cantidad de Calcio que poseen los diferentes lotes, lo cual se puede confirmar con los resultados, ya que los datos reflejan variabilidad durante el mismo muestreo y en la misma tortillería. Sin embargo, en los valores promedio de Hierro se puede observar que los mismos son estables, es decir, que no se encuentra

variabilidad entre los diferentes lotes de harina, esto puede ser porque la harina es fortificada con este mineral, esto se debe a que durante el proceso de elaboración de la harina se cumple un protocolo en el cual indica una cantidad específica que se le adiciona para fortificar con hierro la harina como parte de un proceso industrial de manufactura.

10. CONCLUSIONES

- 10.1. Los resultados del porcentaje de humedad de las tortillas elaboradas con harina industrializada, son similares en todas las muestras (un promedio de 48.8% p/p) y al compararlos con el valor de referencia (47.8% p/p).
- 10.2. Entre cada una de las tortillerías no existe homogeneidad en la fabricación de las tortillas, ya que las características de peso y diámetro son diferentes, por ser un proceso artesanal.
- 10.3. Se determinó la existencia de los minerales cualitativa y cuantitativamente de Calcio y Hierro en todas las muestras de tortillas elaboradas con harina fabricada industrialmente en las cinco tortillerías incluidas en esta investigación.
- 10.4. Del total de las muestras cuantificadas de Calcio el 13% presentan un valor superior al valor de referencia (124 mg / 100 g de tortilla).
- 10.5. Del total de las muestras cuantificadas de Hierro todas presentan un valor superior al valor de referencia (0.20 mg / 100 g de tortilla).
- 10.6. Las tortillas elaboradas en la zona 15 de la ciudad de Guatemala poseen los valores nutritivos necesarios para aportar un suplemento alimenticio de calidad a la población en cuanto a Calcio y Hierro como minerales.

11.RECOMENDACIONES

- 11.1. Realizar una investigación que incluya otras regiones o departamentos del país con harina de maíz fabricada industrialmente.
- 11.2. Realizar una investigación para comparar la concentración de Calcio y Hierro entre varias marcas comerciales de harina de maíz fabricada industrialmente.
- 11.3. Cuantificar las vitaminas del complejo B, para obtener un valor nutricional de las tortillas más completo.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldana, A. (2005). *Ingredientes, características funcionales, costo de producción y precio de las tortillas elaboradas artesanalmente en algunos municipios de los departamentos de Jutiapa y Totonicapán*. Tesis de Licenciatura en Nutrición, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.
- AOAC (Official Methods of Analysis). (2005). *Calcium in flour: Titrimetric Method* (18^a ed.).
- AOAC (Official Methods of Analysis). (2005). *Iron in flour: Spectrophotometric Method* (18^a ed.).
- AOAC (Official Methods of Analysis). (2005). *Minerals in Infant Formula, Enteral Products, and Pet Foods: Atomic Absorption Spectrophotometric Method* (18^a ed.).
- Bressani, R. (1959). Composición química y el valor nutritivo de maíz. 13, 1-4.
- Bressani, R. (1995). La nixtamalización del maíz. (01), 67, 68, 74, 75.
- Bressani, R., Breuner, M., & Ortiz, M. (1989). Contenido de fibra ácido-yneutro-detergente y de minerales menores en maíz y su tortilla. 39(3), 383-389.
- Bressani, R., Paz, R., & Scrimshaw, N. (1958). Corn nutrient losses, chemical changes in corn during preparation of tortillas. 6(10), 770-774.
- Castillo, S. (1959). *Evaluación nutricional de harinas de maíz obtenidas industrialmente*. Tesis de Licenciatura de Química Farmacéutica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.
- Contreras, P. (1999). *Biodisponibilidad del hierro presente en muestras de maíz crudo, masa nixtamalizada y tortillas*. Tesis de Licenciatura de Bioquímica, Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ciencias y Humanidades, Guatemala.
- Estrada, J. (1998). *Efecto de la temperatura de deshidratación de la masa de maíz nixtamalizada, sobre las características físicas de la harina y las características sensoriales de la tortilla*. Tesis de Licenciatura de Ingeniería

en Ciencias de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.

- Fajardo, O. (2006). *Estudio de la absorción de iones de hierro en harinas de maíz utilizando cal fortificada con hierro durante la nixtamalización*. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Ciencias de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.
- FAO. (1993). El maíz en la nutrición humana. En O. d. Alimentación. Roma, Italia: Colección FAO.
- Hertrampf, E. (2002). *Fortificación de Alimentos con hierro en América Latina: ¿Estamos logrando un impacto en la población?* Universidad de Chile, Santiago.
- Institute of Medicine - National Academy of Sciences. (2001). *Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes. Recommended Intakes for Individuals, Elements*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. (1964). Preparación del maíz molido . 9(12), 1-5.
- Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. (1952). Es preferible el uso de cal en la preparación de tortillas de maíz. 1-2.
- Manual de Procedimiento Operativo del Equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica de Flama, Thermo. (2005). Inglaterra.
- Marengo, E. (1961). *Estudio sobre la suplementación de la harina de masa de maíz con proteínas, aminoácidos y vitaminas*. Tesis de Doctoral, Universidad Autónoma de El Salvador, El Salvador.
- Menchú, M., & Méndez, Z. (2007). *Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica* (2ª ed.). Guatemala, Guatemala: Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá/ Organización Panamericana de la Salud.
- Mérida, I. (2007). *Estudio de factibilidad para una fábrica de harina de maíz nixtamalizado por proceso hidrotérmico* . Tesis de Licenciatura de Ingeniería Química, Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.
- Microwave Digestion System. (2008). Millestone MPR-600/12S Rotor User Manual. Italy.

- Molina, M., Estrada, L., Fidel, M., & Bressani, R. (1977). Drum drying for the improved production of instant tortilla flour. *Journal of Food Science*, 42(6), 1432-1435.
- Palencia, E., Torres, O., Hagler, W., Meredith, F., Williams, L., & Riley, R. (2003). Total fumonisins are reduced in tortillas using the traditional nixtamalization method of mayan communities. *American Society for Nutritional Sciences*, 133, 3200-3203.
- Porth. (2006). *Fisiopatología Salud - Enfermedad: Un enfoque conceptual (7ª ed.)*. Madrid, España: Médica Panamericana.
- Silva, P. (2009). Validación de la metodología analítica para la cuantificación de hierro por espectroscopía de absorción atómica de llama en alimentos de la canasta básica costarricense. *Tecnología en Marcha*, 22(2), 20-22.
- Silva, P., & Valverde, E. (2010). Validación de la metodología analítica para cuantificar el calcio mediante la espectroscopía de absorción atómica de llama y cuantificación en alimentos de la canasta básica costarricense. *Tecnología en Marcha*, 23(4), 47-56.
- Silva, P., & Valverde, E. (2010). Validación de la metodología de cuantificación del magnesio por espectroscopía de absorción atómica de llama en la canasta básica de Costa Rica. *Revista Costarricense Salud Pública*, 19(1), 36-41.
- Torún, B., Menchú, M. & Elías, L. (1994). *Recomendaciones Dietéticas Diarias del INCAP (45 aniversario ed.)*. Guatemala: INCAP/OPS.
- Tucux, A. (1993). *Efecto del proceso de nixtamalización de variedades de maíz sobre las propiedades físico-químicas y nutricionales de la tortilla y el tamalito*. Tesis de Licenciatura de Química Farmacéutica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.
- Urizar, A. (1995). *Efecto de la nixtamalización del maíz sobre el contenido de ácido fítico, calcio y hierro*. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Ciencias de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.

13. ANEXOS

Anexo No. 1

Tabla No. 23 “Valores nutricionales en tortillas según la Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica del INCAP”

| Tortilla | Porcentaje de Agua | Calcio (mg) | Hierro (mg) |
|---------------------|--------------------|-------------|-------------|
| Maíz amarillo c/cal | 47.80 | 158 | 2.50 |
| Maíz blanco c/cal | 47.80 | 124 | 0.20 |

Fuente: Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica, 2007 (INCAP).

Anexo No. 3

Tabla No.25 “Tabla resumen de la concentración de Calcio durante los 4 muestreos en la Tortillería A”

| TORTILLERÍA A | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------------|--|
| Muestreo | Peso Tortilla Húmedo (g) | Peso Tortilla Seco (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Diámetro tortillas (cm) | Peso Muestra digerida (g) | Concentración Calcio por AA (mg/L) | Concentración Calcio (mg/100g) | Promedio (X) | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) |
| 01A01 | 61.058 | 32.399 | 0.531 | 46.94% | 9.3 | 0.4013 | 2.1246 | 70.23 | | | |
| 01A02 | 63.456 | 33.114 | 0.522 | 47.82% | 9.4 | 0.4010 | 2.2987 | 74.79 | | | |
| 01A03 | 64.962 | 35.272 | 0.543 | 45.70% | 9.5 | 0.4008 | * | * | | | |
| 01A04 | 63.713 | 32.691 | 0.513 | 48.69% | 9.2 | 0.4003 | 3.0481 | 97.68 | 80.90 | 14.71 | 18.18% |
| 02A01 | 61.466 | 29.798 | 0.485 | 51.52% | 9.3 | 0.4001 | 3.4128 | 103.38 | | | |
| 02A02 | 58.860 | 29.653 | 0.504 | 49.62% | 9.1 | 0.4005 | 3.3122 | 104.16 | | | |
| 02A03 | 55.968 | 28.499 | 0.509 | 49.08% | 9.3 | 0.4004 | 3.4885 | 110.91 | | | |
| 02A04 | 60.017 | 29.394 | 0.490 | 51.02% | 9.2 | 0.4002 | 3.1805 | 97.31 | 103.94 | 5.57 | 5.36% |
| 03A01 | 61.022 | 32.665 | 0.535 | 46.47% | 9.0 | 0.4028 | 2.9369 | 97.57 | | | |
| 03A02 | 54.994 | 29.818 | 0.542 | 45.78% | 8.9 | 0.4027 | 3.8583 | 129.87 | | | |
| 03A03 | 55.872 | 30.446 | 0.545 | 45.51% | 9.3 | 0.4027 | 3.0726 | 103.94 | | | |
| 03A04 | 60.462 | 33.420 | 0.553 | 44.73% | 8.9 | 0.4026 | 3.4478 | 118.34 | 112.43 | 14.51 | 12.91% |
| 04A01 | 56.815 | 29.852 | 0.525 | 47.46% | 9.2 | 0.4059 | 3.3422 | 108.16 | | | |
| 04A02 | 57.526 | 29.587 | 0.514 | 48.57% | 9.3 | 0.4165 | 3.4305 | 105.91 | | | |
| 04A03 | 58.106 | 29.821 | 0.513 | 48.68% | 9.2 | 0.4062 | 5.2276 | 165.12 | | | |
| 04A04 | 57.677 | 29.991 | 0.520 | 48.00% | 9.2 | 0.4169 | 3.9052 | 121.77 | 125.24 | 27.50 | 21.96% |

Fuente: Datos Experimentales.

*Nota: La concentración de esta muestra no se reporta por pérdida de la misma durante el proceso.

Anexo No. 4

Tabla No.26 “Tabla resumen de la concentración de Calcio durante los 4 muestreos en la Tortillería B”

| TORTILLERÍA B | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------------|--|
| Muestreo | Peso Tortilla Húmedo (g) | Peso Tortilla Seco (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Diámetro tortillas (cm) | Peso Muestra digerida (g) | Concentración Calcio por AA (mg/L) | Concentración Calcio (mg/100g) | Promedio (X) | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) |
| 01B01 | 73.756 | 36.120 | 0.490 | 51.03% | 9.4 | 0.4002 | 2.5624 | 78.39 | | | |
| 01B02 | 79.227 | 38.475 | 0.486 | 51.44% | 9.5 | 0.4017 | 2.1513 | 65.02 | | | |
| 01B03 | 68.614 | 33.034 | 0.481 | 51.86% | 9.4 | 0.4002 | 2.5103 | 75.50 | | | |
| 01B04 | 75.802 | 38.034 | 0.502 | 49.82% | 9.5 | 0.4005 | 2.3242 | 72.80 | 72.93 | 5.74 | 7.88% |
| 02B01 | 65.081 | 32.295 | 0.496 | 50.38% | 9.2 | 0.4019 | 2.7843 | 85.94 | | | |
| 02B02 | 65.688 | 31.873 | 0.485 | 51.48% | 9.3 | 0.4018 | 2.7823 | 84.00 | | | |
| 02B03 | 66.493 | 33.155 | 0.499 | 50.14% | 9.5 | 0.4010 | 2.4957 | 77.58 | | | |
| 02B04 | 66.987 | 32.627 | 0.487 | 51.29% | 9.3 | 0.4011 | 2.6782 | 81.30 | 82.21 | 3.62 | 4.41% |
| 03B01 | 61.058 | 33.497 | 0.549 | 45.14% | 9.3 | 0.4013 | 3.2840 | 112.24 | | | |
| 03B02 | 63.512 | 33.097 | 0.521 | 47.89% | 9.3 | 0.4015 | 3.3368 | 108.27 | | | |
| 03B03 | 62.384 | 32.796 | 0.526 | 47.43% | 9.3 | 0.4013 | 3.0124 | 98.66 | | | |
| 03B04 | 60.528 | 32.545 | 0.538 | 46.23% | 9.1 | 0.4000 | 2.9551 | 99.31 | 104.62 | 6.71 | 6.42% |
| 04B01 | 74.060 | 38.329 | 0.518 | 48.25% | 9.4 | 0.4056 | 4.2295 | 134.92 | | | |
| 04B02 | 69.035 | 35.698 | 0.517 | 48.29% | 9.8 | 0.4104 | 2.7740 | 87.38 | | | |
| 04B03 | 70.870 | 36.665 | 0.517 | 48.26% | 9.7 | 0.4091 | 3.1838 | 100.66 | | | |
| 04B04 | 67.241 | 35.042 | 0.521 | 47.89% | 9.6 | 0.4225 | 3.3109 | 102.10 | 106.26 | 20.22 | 19.03% |

Fuente: Datos Experimentales.

Anexo No. 5

Tabla No.27 “Tabla resumen de la concentración de Calcio durante los 4 muestreos en la Tortillería C”

| TORTILLERÍA C | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------------|--|
| Muestreo | Peso Tortilla Húmedo (g) | Peso Tortilla Seco (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Diámetro tortillas (cm) | Peso Muestra digerida (g) | Concentración Calcio por AA (mg/L) | Concentración Calcio (mg/100g) | Promedio (X) | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) |
| 01C01 | 53.483 | 30.487 | 0.570 | 43.00% | 9.2 | 0.4005 | 6.4482 | 229.44* | | | |
| 01C02 | 57.884 | 32.124 | 0.555 | 44.50% | 9.3 | 0.4010 | 3.1790 | 109.99 | | | |
| 01C03 | 58.361 | 31.187 | 0.534 | 46.56% | 9.4 | 0.4015 | 3.3240 | 110.60 | | | |
| 01C04 | 59.460 | 31.478 | 0.529 | 47.06% | 9.5 | 0.4012 | 2.8476 | 93.94 | 104.84 | 9.45 | 9.01% |
| 02C01 | 57.306 | 30.464 | 0.532 | 46.84% | 9.3 | 0.4004 | 3.5696 | 118.48 | | | |
| 02C02 | 55.367 | 29.803 | 0.538 | 46.17% | 9.2 | 0.4005 | 2.7758 | 93.27 | | | |
| 02C03 | 57.395 | 30.837 | 0.537 | 46.27% | 9.1 | 0.4010 | 3.4780 | 116.50 | | | |
| 02C04 | 58.487 | 31.165 | 0.533 | 46.71% | 9.4 | 0.4132 | 7.0437 | 227.08* | 109.42 | 14.02 | 12.81% |
| 03C01 | 53.398 | 29.186 | 0.547 | 45.34% | 9.1 | 0.4024 | 2.6974 | 91.60 | | | |
| 03C02 | 55.940 | 29.474 | 0.527 | 47.31% | 9.1 | 0.4024 | 2.9722 | 97.29 | | | |
| 03C03 | 58.268 | 29.849 | 0.512 | 48.77% | 9.2 | 0.4002 | 3.2737 | 104.76 | | | |
| 03C04 | 57.155 | 32.064 | 0.561 | 43.90% | 9.1 | 0.4035 | 3.5084 | 121.95 | 103.90 | 13.18 | 12.69% |
| 04C01 | 53.332 | 28.388 | 0.532 | 46.77% | 9.3 | 0.4065 | 3.3121 | 108.43 | | | |
| 04C02 | 59.093 | 30.593 | 0.518 | 48.23% | 9.0 | 0.4074 | 3.3346 | 105.94 | | | |
| 04C03 | 55.282 | 29.189 | 0.528 | 47.20% | 9.3 | 0.4146 | 3.6850 | 117.32 | | | |
| 04C04 | 56.998 | 30.559 | 0.536 | 46.39% | 9.1 | 0.4088 | 3.4900 | 114.43 | 111.53 | 5.26 | 4.71% |

Fuente: Datos Experimentales.

*Nota: Estos valores fueron eliminados por medio de la prueba estadística de Grubbs.

Anexo No. 6

Tabla No.28 “Tabla resumen de la concentración de Calcio durante los 4 muestreos en la Tortillería D”

| TORTILLERÍA D | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------------|--|
| Muestreo | Peso Tortilla Húmedo (g) | Peso Tortilla Seco (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Diámetro tortillas (cm) | Peso Muestra digerida (g) | Concentración Calcio por AA (mg/L) | Concentración Calcio (mg/100g) | Promedio (X) | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) |
| 01D01 | 50.217 | 25.174 | 0.499 | 49.87% | 9.1 | 0.4009 | 2.7455 | 85.38 | | | |
| 01D02 | 54.834 | 26.730 | 0.513 | 51.25% | 9.1 | 0.4006 | 2.7502 | 87.97 | | | |
| 01D03 | 53.655 | 25.567 | 0.523 | 52.35% | 9.3 | 0.4054 | 2.8260 | 91.23 | | | |
| 01D04 | 48.011 | 24.054 | 0.499 | 49.90% | 9.0 | 0.4019 | 2.4781 | 76.92 | 85.37 | 6.12 | 7.17% |
| 02D01 | 55.469 | 28.593 | 0.485 | 48.45% | 9.3 | 0.4000 | 5.5288 | 167.43 | | | |
| 02D02 | 58.300 | 29.460 | 0.495 | 49.47% | 9.2 | 0.4009 | 2.6411 | 81.47 | | | |
| 02D03 | 55.119 | 28.793 | 0.478 | 47.76% | 9.3 | 0.4013 | 2.3968 | 71.32 | | | |
| 02D04 | 55.995 | 28.497 | 0.491 | 49.11% | 9.3 | 0.4003 | 3.4420 | 105.56 | 106.45 | 43.12 | 40.51% |
| 03D01 | 85.784 | 43.397 | 0.494 | 49.41% | 10.3 | 0.4046 | 3.0875 | 94.26 | | | |
| 03D02 | 88.753 | 45.843 | 0.483 | 48.35% | 10.5 | 0.4017 | 3.3869 | 101.91 | | | |
| 03D03 | 81.235 | 43.165 | 0.469 | 46.86% | 10.7 | 0.4014 | 4.3295 | 126.37 | | | |
| 03D04 | 88.694 | 46.088 | 0.480 | 48.04% | 11.3 | 0.4094 | 2.6447 | 77.58 | 100.03 | 20.29 | 20.28% |
| 04D01 | 92.950 | 44.861 | 0.517 | 51.74% | 11.0 | 0.4219 | 4.3798 | 134.27 | | | |
| 04D02 | 95.570 | 46.408 | 0.514 | 51.44% | 11.1 | 0.4040 | 3.8695 | 123.17 | | | |
| 04D03 | 96.751 | 49.965 | 0.484 | 48.36% | 11.2 | 0.4185 | 4.8798 | 140.96 | | | |
| 04D04 | 90.063 | 43.952 | 0.512 | 51.20% | 11.3 | 0.4145 | 5.3042 | 163.79 | 140.55 | 17.14 | 12.20% |

Fuente: Datos Experimentales.

Anexo No. 7

Tabla No.29 “Tabla resumen de concentración de Calcio durante los 4 muestreos en la Tortillería E”

| TORTILLERÍA E | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------------|--|
| Muestreo | Peso Tortilla Húmedo (g) | Peso Tortilla Seco (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Diámetro tortillas (cm) | Peso Muestra digerida (g) | Concentración Calcio por AA (mg/L) | Concentración Calcio (mg/100g) | Promedio (X) | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) |
| 01E01 | 88.211 | 43.663 | 0.495 | 50.50% | 10.2 | 0.4007 | 3.0673 | 94.73 | | | |
| 01E02 | 89.587 | 44.312 | 0.495 | 50.54% | 10.2 | 0.4004 | 2.7592 | 85.21 | | | |
| 01E03 | 87.898 | 44.532 | 0.507 | 49.34% | 10.2 | 0.4020 | 3.2116 | 101.19 | | | |
| 01E04 | 89.199 | 44.461 | 0.498 | 50.16% | 10.2 | 0.4013 | 3.1296 | 97.18 | 94.58 | 6.79 | 7.18% |
| 02E01 | 99.807 | 45.956 | 0.460 | 53.96% | 10.2 | 0.4014 | 2.6608 | 76.31 | | | |
| 02E02 | 89.917 | 44.548 | 0.495 | 50.46% | 10.1 | 0.4013 | 3.3274 | 102.70 | | | |
| 02E03 | 95.646 | 46.149 | 0.482 | 51.75% | 10.1 | 0.4006 | 3.1354 | 94.41 | | | |
| 02E04 | 90.589 | 44.483 | 0.491 | 50.90% | 10.1 | 0.4003 | 3.0083 | 92.26 | 91.42 | 11.03 | 12.07% |
| 03E01 | 90.348 | 45.483 | 0.503 | 49.66% | 10.2 | 0.4055 | 3.7269 | 115.67 | | | |
| 03E02 | 81.559 | 42.118 | 0.516 | 48.36% | 9.9 | 0.4013 | 3.1857 | 102.49 | | | |
| 03E03 | 89.087 | 45.657 | 0.512 | 48.75% | 10.4 | 0.4015 | 2.9435 | 93.93 | | | |
| 03E04 | 80.739 | 43.402 | 0.538 | 46.24% | 10.2 | 0.4017 | 3.3817 | 113.14 | 106.31 | 10.03 | 9.44% |
| 04E01 | 96.949 | 43.832 | 0.452 | 54.79% | 10.6 | 0.4022 | 4.1882 | 117.70 | | | |
| 04E02 | 96.504 | 46.007 | 0.477 | 52.33% | 10.4 | 0.4071 | 6.0913 | 178.33 | | | |
| 04E03 | 92.808 | 43.800 | 0.472 | 52.81% | 10.4 | 0.4033 | 4.2384 | 123.99 | | | |
| 04E04 | 92.834 | 43.080 | 0.464 | 53.59% | 10.4 | 0.4190 | 3.8342 | 106.16 | 131.55 | 32.05 | 24.37% |

Fuente: Datos Experimentales.

Anexo No. 8

Tabla No.30 “Tabla resumen de concentración de Hierro durante los 4 muestreos en la Tortillería A”

| TORTILLERÍA A | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------------|--|
| Muestreo | Peso Tortilla Húmedo (g) | Peso Tortilla Seco (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Diámetro tortillas (cm) | Peso Muestra digerida (g) | Concentración Hierro por AA (mg/L) | Concentración Hierro (mg/100g) | Promedio (X) | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) |
| 01A01 | 61.058 | 32.399 | 0.531 | 46.94% | 9.3 | 0.4013 | 1.0217 | 1.351 | | | |
| 01A02 | 63.456 | 33.114 | 0.522 | 47.82% | 9.4 | 0.4010 | 3.6722 | 4.779* | | | |
| 01A03 | 64.962 | 35.272 | 0.543 | 45.70% | 9.5 | 0.4008 | 0.8955 | 1.213 | | | |
| 01A04 | 63.713 | 32.691 | 0.513 | 48.69% | 9.2 | 0.4003 | 1.4425 | 1.849 | 1.47 | 0.33 | 22.74% |
| 02A01 | 61.466 | 29.798 | 0.485 | 51.52% | 9.3 | 0.4001 | 1.4631 | 1.773 | | | |
| 02A02 | 58.860 | 29.653 | 0.504 | 49.62% | 9.1 | 0.4005 | 0.7759 | 0.976 | | | |
| 02A03 | 55.968 | 28.499 | 0.509 | 49.08% | 9.3 | 0.4004 | 0.6781 | 0.862 | | | |
| 02A04 | 60.017 | 29.394 | 0.490 | 51.02% | 9.2 | 0.4002 | 0.8408 | 1.029 | 1.16 | 0.41 | 35.72% |
| 03A01 | 61.022 | 32.665 | 0.535 | 46.47% | 9.0 | 0.4028 | 0.6331 | 0.841 | | | |
| 03A02 | 54.994 | 29.818 | 0.542 | 45.78% | 8.9 | 0.4027 | 0.6393 | 0.861 | | | |
| 03A03 | 55.872 | 30.446 | 0.545 | 45.51% | 9.3 | 0.4027 | 0.7307 | 0.989 | | | |
| 03A04 | 60.462 | 33.420 | 0.553 | 44.73% | 8.9 | 0.4026 | 2.3020 | 3.160* | 0.90 | 0.08 | 8.93% |
| 04A01 | 56.815 | 29.852 | 0.525 | 47.46% | 9.2 | 0.4059 | 3.8571 | 4.993 | | | |
| 04A02 | 57.526 | 29.587 | 0.514 | 48.57% | 9.3 | 0.4165 | 3.1075 | 3.837 | | | |
| 04A03 | 58.106 | 29.821 | 0.513 | 48.68% | 9.2 | 0.4062 | 4.1925 | 5.297 | | | |
| 04A04 | 57.677 | 29.991 | 0.520 | 48.00% | 9.2 | 0.4169 | 4.4770 | 5.584 | 4.93 | 0.77 | 15.54% |

Fuente: Datos Experimentales.

*Nota: Estos valores fueron eliminados por medio de la prueba estadística de Grubbs.

Anexo No. 9

Tabla No.31 “Tabla resumen de concentración de Hierro durante los 4 muestreos en la Tortillería B”

| TORTILLERÍA B | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------------|--|
| Muestreo | Peso Tortilla Húmedo (g) | Peso Tortilla Seco (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Diámetro tortillas (cm) | Peso Muestra digerida (g) | Concentración Hierro por AA (mg/L) | Concentración Hierro (mg/100g) | Promedio (X) | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) |
| 01B01 | 73.756 | 36.120 | 0.490 | 51.03% | 9.4 | 0.4002 | 1.0344 | 1.266 | | | |
| 01B02 | 79.227 | 38.475 | 0.486 | 51.44% | 9.5 | 0.4017 | 1.1285 | 1.364 | | | |
| 01B03 | 68.614 | 33.034 | 0.481 | 51.86% | 9.4 | 0.4002 | 2.4998 | 3.007 | | | |
| 01B04 | 75.802 | 38.034 | 0.502 | 49.82% | 9.5 | 0.4005 | 3.6854 | 4.617 | 2.56 | 1.58 | 61.83% |
| 02B01 | 65.081 | 32.295 | 0.496 | 50.38% | 9.2 | 0.4019 | 0.5452 | 0.673 | | | |
| 02B02 | 65.688 | 31.873 | 0.485 | 51.48% | 9.3 | 0.4018 | 1.0310 | 1.245 | | | |
| 02B03 | 66.493 | 33.155 | 0.499 | 50.14% | 9.5 | 0.4010 | 0.6382 | 0.794 | | | |
| 02B04 | 66.987 | 32.627 | 0.487 | 51.29% | 9.3 | 0.4011 | 0.8376 | 1.017 | 0.93 | 0.25 | 27.10% |
| 03B01 | 61.058 | 33.497 | 0.549 | 45.14% | 9.3 | 0.4013 | 0.7163 | 0.979 | | | |
| 03B02 | 63.512 | 33.097 | 0.521 | 47.89% | 9.3 | 0.4015 | 0.7668 | 0.995 | | | |
| 03B03 | 62.384 | 32.796 | 0.526 | 47.43% | 9.3 | 0.4013 | 0.7880 | 1.032 | | | |
| 03B04 | 60.528 | 32.545 | 0.538 | 46.23% | 9.1 | 0.4000 | 0.7077 | 0.951 | 0.99 | 0.03 | 3.42% |
| 04B01 | 74.060 | 38.329 | 0.518 | 48.25% | 9.4 | 0.4056 | 2.2638 | 2.889 | | | |
| 04B02 | 69.035 | 35.698 | 0.517 | 48.29% | 9.8 | 0.4104 | 2.3022 | 2.901 | | | |
| 04B03 | 70.870 | 36.665 | 0.517 | 48.26% | 9.7 | 0.4091 | 2.1322 | 2.696 | | | |
| 04B04 | 67.241 | 35.042 | 0.521 | 47.89% | 9.6 | 0.4225 | 1.7241 | 2.127 | 2.65 | 0.36 | 13.69% |

Fuente: Datos Experimentales.

Anexo No. 10

Tabla No.32 “Tabla resumen de concentración de Hierro durante los 4 muestreos en la Tortillería C”

| TORTILLERÍA C | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------------|--|
| Muestreo | Peso Tortilla Húmedo (g) | Peso Tortilla Seco (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Diámetro tortillas (cm) | Peso Muestra digerida (g) | Concentración Hierro por AA (mg/L) | Concentración Hierro (mg/100g) | Promedio (X) | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) |
| 01C01 | 53.483 | 30.487 | 0.570 | 43.00% | 9.2 | 0.4005 | 2.9688 | 42.255 | | | |
| 01C02 | 57.884 | 32.124 | 0.555 | 44.50% | 9.3 | 0.4010 | 1.3121 | 18.159 | | | |
| 01C03 | 58.361 | 31.187 | 0.534 | 46.56% | 9.4 | 0.4015 | 0.9107 | 12.121 | | | |
| 01C04 | 59.460 | 31.478 | 0.529 | 47.06% | 9.5 | 0.4012 | 0.6264 | 8.266 | 20.20 | 15.26 | 75.53% |
| 02C01 | 57.306 | 30.464 | 0.532 | 46.84% | 9.3 | 0.4004 | 0.8196 | 10.882 | | | |
| 02C02 | 55.367 | 29.803 | 0.538 | 46.17% | 9.2 | 0.4005 | 0.4752 | 6.387 | | | |
| 02C03 | 57.395 | 30.837 | 0.537 | 46.27% | 9.1 | 0.4010 | 0.8283 | 11.098 | | | |
| 02C04 | 58.487 | 31.165 | 0.533 | 46.71% | 9.4 | 0.4132 | 0.9605 | 12.386 | 10.19 | 2.62 | 25.71% |
| 03C01 | 53.398 | 29.186 | 0.547 | 45.34% | 9.1 | 0.4024 | 0.7906 | 10.739 | | | |
| 03C02 | 55.940 | 29.474 | 0.527 | 47.31% | 9.1 | 0.4024 | 0.7749 | 10.146 | | | |
| 03C03 | 58.268 | 29.849 | 0.512 | 48.77% | 9.2 | 0.4002 | 0.7369 | 9.433 | | | |
| 03C04 | 57.155 | 32.064 | 0.561 | 43.90% | 9.1 | 0.4035 | 0.7325 | 10.184 | 10.13 | 0.54 | 5.29% |
| 04C01 | 53.332 | 28.388 | 0.532 | 46.77% | 9.3 | 0.4065 | 2.4454 | 32.021 | | | |
| 04C02 | 59.093 | 30.593 | 0.518 | 48.23% | 9.0 | 0.4074 | 2.5802 | 32.788 | | | |
| 04C03 | 55.282 | 29.189 | 0.528 | 47.20% | 9.3 | 0.4146 | 6.7921 | 86.499 | | | |
| 04C04 | 56.998 | 30.559 | 0.536 | 46.39% | 9.1 | 0.4088 | 3.6074 | 47.311 | 49.65 | 25.55 | 51.46% |

Fuente: Datos Experimentales.

Anexo No. 11

Tabla No.33 “Tabla resumen de concentración de Hierro durante los 4 muestreos en la Tortillería D”

| TORTILLERÍA D | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------------|--|
| Muestreo | Peso Tortilla Húmedo (g) | Peso Tortilla Seco (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Diámetro tortillas (cm) | Peso Muestra digerida (g) | Concentración Hierro por AA (mg/L) | Concentración Hierro (mg/100g) | Promedio (X) | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) |
| 01D01 | 50.217 | 25.174 | 0.501 | 49.87% | 9.1 | 0.4009 | 0.8610 | 1.077 | | | |
| 01D02 | 54.834 | 26.730 | 0.487 | 51.25% | 9.1 | 0.4006 | 1.2404 | 1.509 | | | |
| 01D03 | 53.655 | 25.567 | 0.477 | 52.35% | 9.3 | 0.4054 | 0.7748 | 0.911 | | | |
| 01D04 | 48.011 | 24.054 | 0.501 | 49.90% | 9.0 | 0.4019 | 1.2538 | 1.563 | 1.26 | 0.32 | 25.39% |
| 02D01 | 55.469 | 28.593 | 0.515 | 48.45% | 9.3 | 0.4000 | 0.7118 | 0.917 | | | |
| 02D02 | 58.300 | 29.460 | 0.505 | 49.47% | 9.2 | 0.4009 | 0.7648 | 0.964 | | | |
| 02D03 | 55.119 | 28.793 | 0.522 | 47.76% | 9.3 | 0.4013 | 0.5084 | 0.662 | | | |
| 02D04 | 55.995 | 28.497 | 0.509 | 49.11% | 9.3 | 0.4003 | 0.9461 | 1.203 | 0.94 | 0.22 | 23.68% |
| 03D01 | 85.784 | 43.397 | 0.506 | 49.41% | 10.3 | 0.4046 | 0.7262 | 0.908 | | | |
| 03D02 | 88.753 | 45.843 | 0.517 | 48.35% | 10.5 | 0.4017 | 0.5754 | 0.740 | | | |
| 03D03 | 81.235 | 43.165 | 0.531 | 46.86% | 10.7 | 0.4014 | 0.1975 | 0.261 | | | |
| 03D04 | 88.694 | 46.088 | 0.520 | 48.04% | 11.3 | 0.4094 | 1.4995 | 1.903 | 0.95 | 0.69 | 72.40% |
| 04D01 | 92.950 | 44.861 | 0.483 | 51.74% | 11.0 | 0.4219 | 1.4556 | 1.665 | | | |
| 04D02 | 95.570 | 46.408 | 0.486 | 51.44% | 11.1 | 0.4040 | 1.2923 | 1.553 | | | |
| 04D03 | 96.751 | 49.965 | 0.516 | 48.36% | 11.2 | 0.4185 | 1.0147 | 1.252 | | | |
| 04D04 | 90.063 | 43.952 | 0.488 | 51.20% | 11.3 | 0.4145 | 3.9342 | 4.632* | 1.49 | 0.21 | 14.33% |

Fuente: Datos Experimentales.

*Nota: Estos valores fueron eliminados por medio de la prueba estadística de Grubbs.

Anexo No. 12

Tabla No.34 “Tabla resumen de concentración de Hierro durante los 4 muestreos en la Tortillería E”.

| TORTILLERÍA E | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------------|--|
| Muestreo | Peso Tortilla Húmedo (g) | Peso Tortilla Seco (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Diámetro tortillas (cm) | Peso Muestra digerida (g) | Concentración Hierro por AA (mg/L) | Concentración Hierro (mg/100g) | Promedio (X) | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) |
| 01E01 | 88.211 | 43.663 | 0.495 | 50.50% | 10.2 | 0.4007 | 0.8172 | 1.009 | | | |
| 01E02 | 89.587 | 44.312 | 0.495 | 50.54% | 10.2 | 0.4004 | 0.6832 | 0.844 | | | |
| 01E03 | 87.898 | 44.532 | 0.507 | 49.34% | 10.2 | 0.4020 | 1.2083 | 1.523 | | | |
| 01E04 | 89.199 | 44.461 | 0.498 | 50.16% | 10.2 | 0.4013 | 0.4825 | 0.599 | 0.99 | 0.39 | 39.32% |
| 02E01 | 99.807 | 45.956 | 0.460 | 53.96% | 10.2 | 0.4014 | 0.6961 | 0.799 | | | |
| 02E02 | 89.917 | 44.548 | 0.495 | 50.46% | 10.1 | 0.4013 | 0.7926 | 0.979 | | | |
| 02E03 | 95.646 | 46.149 | 0.482 | 51.75% | 10.1 | 0.4006 | 0.8091 | 0.975 | | | |
| 02E04 | 90.589 | 44.483 | 0.491 | 50.90% | 10.1 | 0.4003 | 0.5907 | 0.725 | 0.87 | 0.13 | 14.70% |
| 03E01 | 90.348 | 45.483 | 0.503 | 49.66% | 10.2 | 0.4055 | 1.0043 | 1.247 | | | |
| 03E02 | 81.559 | 42.118 | 0.516 | 48.36% | 9.9 | 0.4013 | 5.5455 | 7.136 | | | |
| 03E03 | 89.087 | 45.657 | 0.512 | 48.75% | 10.4 | 0.4015 | 3.5165 | 4.489 | | | |
| 03E04 | 80.739 | 43.402 | 0.538 | 46.24% | 10.2 | 0.4017 | 2.5378 | 3.396 | 4.07 | 2.45 | 60.23% |
| 04E01 | 96.949 | 43.832 | 0.452 | 54.79% | 10.6 | 0.4022 | 2.3179 | 2.606 | | | |
| 04E02 | 96.504 | 46.007 | 0.477 | 52.33% | 10.4 | 0.4071 | 2.6212 | 3.070 | | | |
| 04E03 | 92.808 | 43.800 | 0.472 | 52.81% | 10.4 | 0.4033 | 2.3643 | 2.767 | | | |
| 04E04 | 92.834 | 43.080 | 0.464 | 53.59% | 10.4 | 0.4190 | 3.2339 | 3.582 | 3.01 | 0.43 | 14.28% |

Fuente: Datos Experimentales.

Anexo No. 13

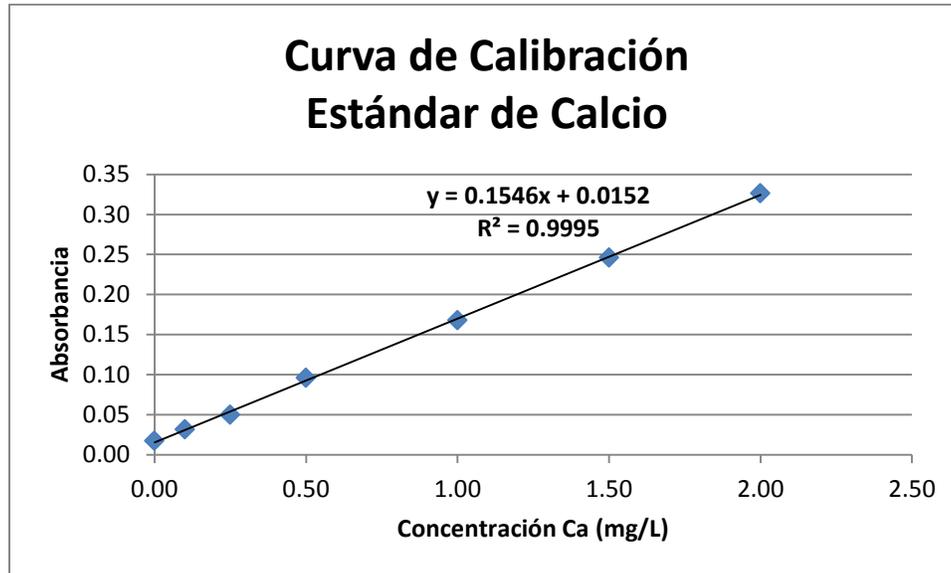
Tabla No.35 “Concentración de Calcio y Hierro en harina de maíz elaborada industrialmente de una marca comercial, en 3 diferentes lotes”

| HARINA DE UNA MARCA COMERCIAL | | | | | | | |
|-------------------------------|---------|----------|----------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|--|
| Lote | Mineral | Peso (g) | Factor Humedad | Porcentaje Humedad (%) | Promedio Concentración (mg/100g) | Desviación Estándar (s) | Porcentaje Coeficiente Variación (%CV) |
| 1 | Ca | 35.03 | 0.90 | 10.07% | 76.58 ±4.34 | 2.73 | 3.56% |
| | Fe | | | | 3.06 ±0.17 | | |
| 2 | Ca | 35.00 | 0.91 | 8.80% | 126.90 ±3.52 | 1.16 | 0.91% |
| | Fe | | | | 3.31 ±0.74 | | |
| 3 | Ca | 35.01 | 0.91 | 8.58% | 227.49 ±147.47 | 59.37 | 30.41% |
| | Fe | | | | 2.29 ±3.33 | | |

Fuente: Datos experimentales.

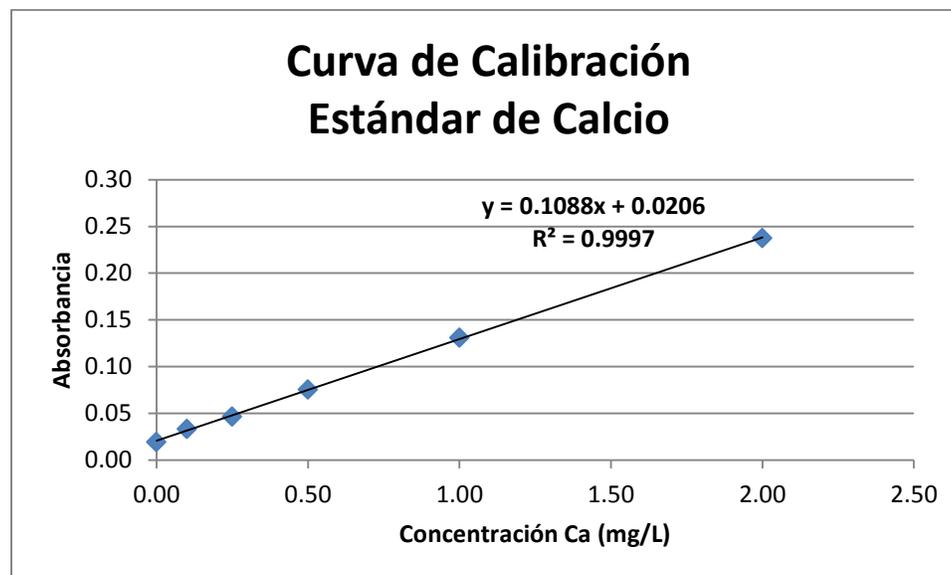
Anexo No. 14

Gráfica No. 21 “Curva de Calibración de Estándar de Calcio”



Fuente: Datos Experimentales.

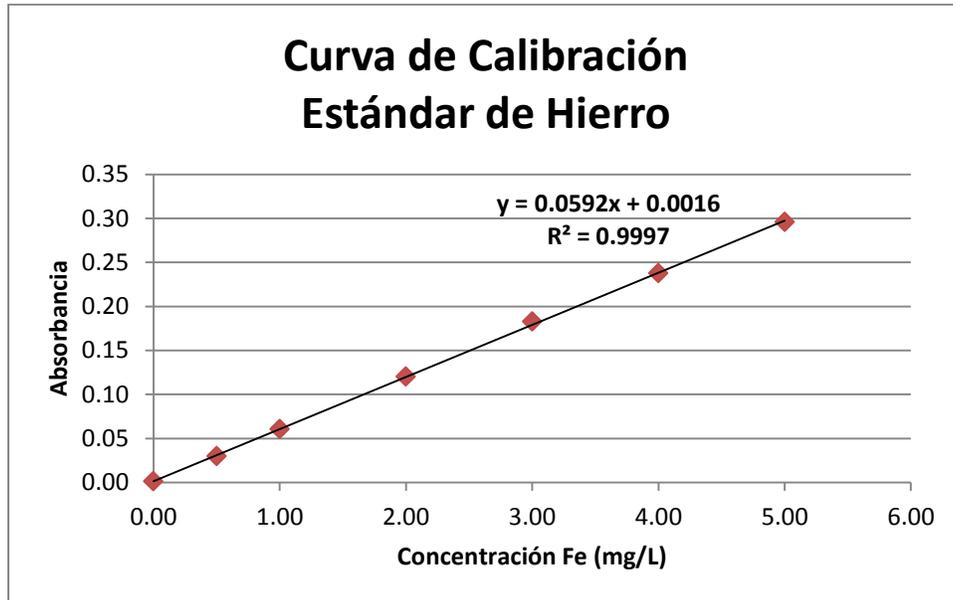
Gráfica No. 22 “Curva de Calibración de Estándar de Calcio”



Fuente: Datos Experimentales.

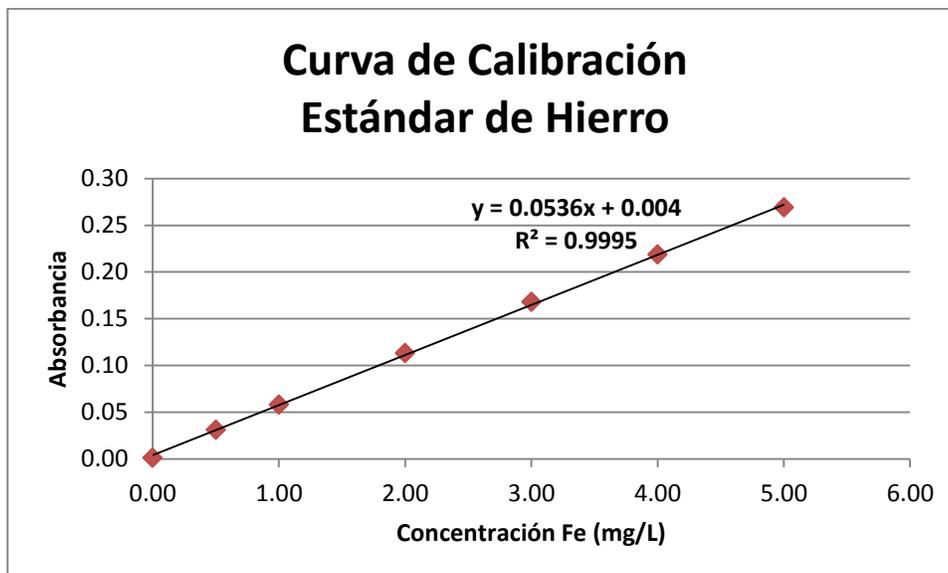
Anexo No. 15

Gráfica No. 23 “Curva de Calibración de Estándar de Hierro”



Fuente: Datos Experimentales.

Gráfica No. 24 “Curva de Calibración de Estándar de Hierro”

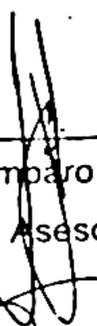


Fuente: Datos Experimentales.



Silvia Maria Rivera Valdez

Autora



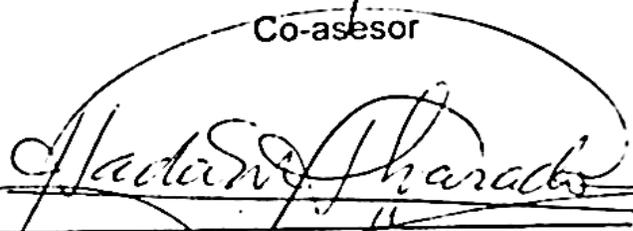
M.A. Julia Amparo Garcia Bolaños

Asesora



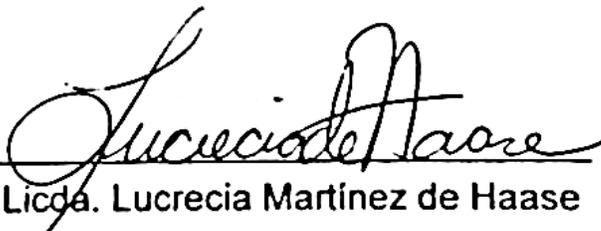
M.Sc. Félix Ricardo Véliz Fuentes

Co-asesor



M.Sc. Hada Marieta Alvarado Beteta

Revisora



Licda. Lucrecia Martínez de Haase

Directora de Escuela



Dr. Oscar Cobar Pinto

Decano de Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia